

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



Presentado por  
**YUBER TAÍPE FLORES**

**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA LECHE POR QUINUA *Chenopodium quinoa Willd* Y TARWI *Lupinus mutabilis Sweet* EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICA DEL YOGURT BATIDO.**

Asesor:

**MSc. Ing. THOMAS ANCCO VIZCARRA**

Co-asesor:

**Ing. JOSÉ MANUEL PRIETO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**

**2018**



## APROBACIÓN DEL ASESOR

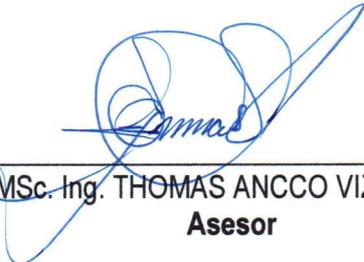
Quién suscribe:

MSc. Ing. THOMAS ANCCO VIZCARRA, por la presente:

### **CERTIFICA,**

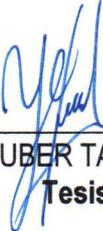
Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, YUBER TAIPE FLORES ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y TARWI (*Lupinus mutabilis Sweet*) POR LECHE EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICA DEL YOGURT BATIDO" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Talavera, 14 de diciembre de 2018



---

MSc. Ing. THOMAS ANCCO VIZCARRA  
**Asesor**



---

Bach. YUBER TAIPE FLORES  
**Tesista**



## APROBACIÓN DEL CO – ASESOR

Quién suscribe:

Ing. JOSÉ MANUEL PRIETO, por la presente:

### **CERTIFICA,**

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, YUBER TAIPE FLORES ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y TARWI (*Lupinus mutabilis Sweet*) POR LECHE EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICA DEL YOGURT BATIDO" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Talavera, 14 de diciembre de 2018

---

Ing. JOSÉ MANUEL PRIETO  
**Asesor**

---

Bach. YUBER TAIPE FLORES  
**Tesista**



## FACULTAD DE INGENIERIA

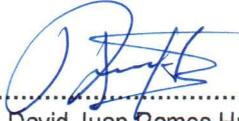
### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el local Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica Santa Rosa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las dos de la tarde del día lunes dieciocho de junio del dos mil dieciocho; se reunieron el Ing. MSc. David Juan Ramos Huallpartupa, el Ing. Juvenal Rivas Leguía, el Ing. Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA LECHE POR QUINUA *Chenopodium quinoa Willd* Y TARWI *Lupinus mutabilis Sweet* EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICA DE YOGURT BATIDO", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **YUBER TAIBE FLORES**, el asesor el Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra y el Co-Asesor Ing. José Manuel Prieto con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa del tesista, el Jurado Evaluador **ACORDÓ:** APROBAR por UNANIMIDAD al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **YUBER TAIBE FLORES**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

| Nota escala vigesimal |        | Mención |
|-----------------------|--------|---------|
| Números               | Letras |         |
| 15                    | QUINCE | BUENO   |

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

  
.....  
Ing. MSc. David Juan Ramos Huallpartupa  
Presidente del Jurado Evaluador

  
.....  
Ing. Juvenal Rivas Leguía  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

  
.....  
Ing. Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y TARWI (*Lupinus mutabilis Sweet*) POR LECHE EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICA DEL YOGURT BATIDO; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

**PRESIDENTE:** MSc. Ing. DAVID JUAN, RAMOS HUALLPARTUPA

**PRIMER MIEMBRO:** Ing. JUVENAL, RIVAS LEGUÍA

**SEGUNDO MIEMBRO:** Mg. Ing. DENIS HERNÁN, GUTIÉRREZ MARTÍNEZ

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 18 del mes de junio de 2018.

Talavera, 14 de diciembre de 2018

---

**MSc. Ing. DAVID JUAN, RAMOS HUALLPARTUPA**  
**PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR**

---

**Ing. JUVENAL, RIVAS LEGUÍA**  
**PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

---

**Mg. Ing. DENIS HERNÁN, GUTIÉRREZ MARTÍNEZ**  
**SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser quien me sostiene en el día a día y ser mi motivación para poder servir a las personas.

A mis padres, Neri Eleuteria Flores Alfaro y Gonzalo Erasmo Taipe Sotaya quienes me brindaron todo su apoyo en mi formación académica profesional.

A mis hermanos, Nelida, Fredy, Rudy, Wendy y Paul, por la motivación que me dieron en mis momentos más difíciles.

A mi cuñado Luis y mi sobrina Sidney, por animarme a continuar esforzándome en mis estudios universitarios.

A los sacerdotes, Padre Alfredo Prado Calderon, Padre Eligio Molero Osorio y Padre Alipio Oscoco Ccarhuas, por grandes amigos y quienes me ayudaron en mi vida cristiana católica para así amarle a Dios sobre todas las cosas.

Al Club de Acólitos de la parroquia San Pedro de Andahuaylas y a mis amigos y amigas de esta parroquia, por brindarme su amistad en cada momento.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi alma mater “Universidad Nacional José María Arguedas” y su escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Al MSc. Thomas Ancco Vizcarra, por su paciencia y apoyo incondicional en todo el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. José Manuel Prieto, por su apoyo en las dificultades encontradas durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

A los profesionales Ing. David Juan Ramos Hualpartupa, Ing. Juvenal Rivas Leguía y al Ing. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, quienes fueron los que contribuyeron para culminar el presente trabajo de investigación - tesis.

A la I.E. Unión Pacifico del Sur –Chihuampata, y al Director Mg. Juan Carlos y docentes, por brindarme las facilidades necesarias para culminar este trabajo de investigación y confiar en mi trabajo profesional.

A mis familiares, amigos y compañeros de clase, por compartir su tiempo con mi persona y motivarme a desarrollar esta presente investigación.

## ÍNDICE GENERAL

|  | Página |
|--|--------|
| APROBACIÓN DEL ASESOR.....                             | ii     |
| APROBACIÓN DEL CO–ASESOR .....                         | iii    |
| COPIA DEL ACTA DE SUSTENTACIÓN.....                    | iv     |
| APROBACIÓN DEL JURADO EVALUADOR .....                  | v      |
| ÍNDICE GENERAL.....                                    | viii   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                 | xii    |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                 | xiv    |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                                 | xv     |
| ABREVIATURAS .....                                     | xvi    |
| RESUMEN .....  | xviii  |
| ABSTRAC .....  | xix    |
| CHUMASQA.....  | xx     |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....                          | 1      |
| CAPITULO 2: REVISIÓN LITERARIA.....                    | 2      |
| 2.1. Antecedentes.....                                 | 2      |
| 2.2. Bases teóricas .....                              | 3      |
| 2.2.1. La leche.....                                   | 3      |
| 2.2.1.1. Composición de la leche.....                  | 4      |
| 2.2.2. Yogurt .....                                    | 5      |
| 2.2.2.2. Reología en el yogurt.....                    | 7      |
| 2.2.3. La quinua.....                                  | 7      |
| 2.2.3.1. Descripción botánica.....                     | 8      |
| 2.2.3.2. Propiedades nutricionales.....                | 8      |
| 2.2.4. El tarwi.....                                   | 13     |
| 2.2.4.1. Descripción botánica.....                     | 13     |
| 2.2.4.2. Composición química y valor nutricional ..... | 14     |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.2.5.   | Viscosidad de los fluidos.....                                  | 16 |
| 2.2.5.1. | Fluidos Newtonianos.....  | 18 |
| 2.2.5.2. | Fluidos no Newtonianos.....                                     | 18 |
| 2.2.6.   | Tipos de fluidos .....  | 19 |
| 2.2.6.1. | Fluidos independientes del tiempo .....                         | 19 |
| 2.2.6.2. | Fluidos dependientes del tiempo .....                           | 21 |
| 2.2.6.3. | Fluidos viscoelásticos .....                                    | 21 |
| 2.2.7.   | Reología .....  | 21 |
| 2.2.7.1. | Fuerza .....  | 22 |
| 2.2.7.2. | Fluido.....   | 22 |
| 2.2.7.3. | Flujo y velocidad de deformación .....                          | 22 |
| 2.2.7.4. | Índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia..... | 23 |
| 2.2.8.   | Evaluación sensorial .....                                      | 23 |
| 2.2.9.   | pH.....   | 24 |
| 2.2.10.  | Acidez.....   | 24 |
| 2.3.     | Marco conceptual .....  | 24 |
| 2.3.1.   | Yogurt.....   | 24 |
| 2.3.2.   | Yogurt batido .....   | 24 |
| 2.3.3.   | Variedad .....  | 25 |
| 2.3.4.   | Quinoa Blanca de Juli .....                                     | 25 |
| 2.3.5.   | Tarwi.....  | 26 |
| 2.3.6.   | Reología .....  | 26 |
| 2.3.7.   | Esfuerzo de corte .....   | 26 |
| 2.3.8.   | Viscosidad .....  | 26 |
| 2.3.9.   | Consistencia.....   | 27 |
| 2.3.10.  | Extracto acuoso .....   | 27 |
| 2.3.11.  | Evaluación sensorial .....                                      | 27 |
| 2.3.12.  | Color .....   | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.13. Olor y sabor .....  | 28 |
| 2.3.14. Características fisicoquímicas .....                              | 28 |
| CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS .....                                    | 29 |
| 3.1. Lugar de ejecución .....   | 29 |
| 3.2. Población y muestras .....   | 29 |
| 3.3. Materiales, instrumentos y equipos .....                             | 29 |
| 3.4. Métodos de análisis.....   | 31 |
| 3.4.1. Sedimentación de los extractos acuosos .....                       | 31 |
| 3.4.2. Determinación de la densidad .....                                 | 31 |
| 3.4.3. Evaluación sensorial .....   | 33 |
| 3.4.4. Análisis de “ <i>n</i> ” y “ <i>k</i> ”, metodología Mitschka..... | 33 |
| 3.4.5. Determinación del pH .....   | 35 |
| 3.4.6. Determinación de la acidez titulable .....                         | 35 |
| 3.5. Metodología Experimental .....                                       | 35 |
| 3.5.1. Materia prima .....  | 35 |
| 3.5.2. Obtención del extracto acuoso de quinua .....                      | 35 |
| 3.5.3. Obtención del extracto acuoso de tarwi .....                       | 37 |
| 3.5.4. Yogurt batido con sustitución parcial de quinua y tarwi .....      | 39 |
| 3.5.5. Evaluación sensorial .....   | 42 |
| 3.5.6. Determinación de la viscosidad de la mezcla .....                  | 43 |
| 3.5.7. Determinación de la acidez y pH del yogurt batido.....             | 43 |
| 3.5.8. Determinación de “ <i>n</i> ” y “ <i>k</i> ” .....                 | 43 |
| 3.6. Diseño experimental.....   | 44 |
| CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                   | 50 |
| 4.1. Obtención del extracto acuoso de la quinua y tarwi .....             | 50 |
| 4.2. Proporción de quinua y tarwi para el yogurt batido. ....             | 56 |
| 4.2.1. Viscosidad de la mezcla .....                                      | 56 |
| 4.2.2. Selección del mejor tratamiento de extractos acuosos.....          | 62 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3. Características reológicas y fisicoquímicas yogurt batido ..... | 63 |
| 4.3.1. Viscosidad del yogurt ( $\nu$ ) .....                         | 63 |
| 4.3.2. Selección del mejor tratamiento de yogurt .....               | 66 |
| 4.3.3. Determinación de $n$ y $k$ .....                              | 67 |
| 4.3.4. pH y acidez del yogurt batido .....                           | 71 |
| CONCLUSIONES .....   | 72 |
| RECOMENDACIONES .....  | 73 |
| SUGERENCIAS .....  | 74 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....                                       | 75 |
| ANEXOS .....   | 80 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Página |
|--|--------|
| Tabla N° 1: Contenido nutricional del yogurt .....                         | 6      |
| Tabla N° 2: Composición del valor nutritivo de la quinua (%) .....         | 9      |
| Tabla N° 3: Contenido de vitaminas en el grano de quinua. ....             | 12     |
| Tabla N° 4: Porcentaje de ácidos grasos del tarwi .....                    | 14     |
| Tabla N° 5: Contenido de aminoácidos del tarwi.....                        | 15     |
| Tabla N° 6: Contenido de minerales en el grano del tarwi .....             | 16     |
| Tabla N° 7: Características del grano de quinua variedad Blanca Juli ..... | 25     |
| Tabla N° 8: Valor nutricional de la quinua variedad Blanca Juli.....       | 25     |
| Tabla N° 9: Equipos.....   | 29     |
| Tabla N° 10: Materiales de vidrio .....                                    | 30     |
| Tabla N° 11: Materia prima .....   | 30     |
| Tabla N° 12: Otros materiales .....  | 30     |
| Tabla N° 13: Reactivos e insumos .....                                     | 31     |
| Tabla N° 14: Factores de conversión para husillos .....                    | 34     |
| Tabla N° 15: Escala hedónica para el color.....                            | 42     |
| Tabla N° 16: Escala hedónica para el olor .....                            | 42     |
| Tabla N° 17: Escala hedónica para el sabor .....                           | 42     |
| Tabla N° 18: Escala hedónica para el consistencia .....                    | 42     |
| Tabla N° 19: DCA para el extracto acuoso de quinua.....                    | 44     |
| Tabla N° 20: DCA para el extracto acuoso de tarwi .....                    | 45     |
| Tabla N° 21: DCA para la mezcla de los extractos acuosos a 50 rpm .....    | 45     |
| Tabla N° 22: DCA para la mezcla de los extractos acuosos a 100 rpm .....   | 45     |
| Tabla N° 23: Tabla ANOVA para el DCA.....                                  | 47     |
| Tabla N° 24: Niveles de las variables independientes .....                 | 48     |
| Tabla N° 25: ANOVA del análisis de covarianza .....                        | 49     |
| Tabla N° 26: Resultado de sedimentación de extracto acuoso de quinua ..... | 50     |
| Tabla N° 27: Resultado de sedimentación de extracto acuoso de tarwi.....   | 50     |
| Tabla N° 28: Sedimentación del extracto acuoso de quinua.....              | 54     |
| Tabla N° 29: Sedimentación del extracto acuoso de tarwi.....               | 54     |
| Tabla N° 30: Viscosidad de la mezcla de extractos acuosos a 50 rpm .....   | 56     |
| Tabla N° 31: Del método 95 % Tukey HSD .....                               | 59     |
| Tabla N° 32: Viscosidad de la mezcla de extractos acuosos a 100 rpm .....  | 59     |
| Tabla N° 33: Del método 95 % Tukey HSD .....                               | 62     |

|   |    |
|---|----|
| Tabla N° 34: Mínimos y máximos niveles de los factores .....        | 63 |
| Tabla N° 35: Viscosidad aparente del yogurt batido .....            | 64 |
| Tabla N° 36: Prueba de rango múltiple de Tukey para la quinua. .... | 65 |
| Tabla N° 37: Prueba de rangos múltiples para la interacción .....   | 65 |
| Tabla N° 38: Valores sensoriales del yogurt batido.....             | 66 |
| Tabla N° 39: Esfuerzo de corte .....                                | 67 |
| Tabla N° 40: Viscosidad aparente.....                               | 68 |
| Tabla N° 41: Esfuerzo de corte .....                                | 69 |
| Tabla N° 42: Viscosidad aparente.....                               | 70 |
| Tabla N° 43: pH y acidez del yogurt batido .....                    | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Figura N° 1: Esfuerzo cortante en un fluido entre placas paralelas .....               | 18     |
| Figura N° 2: Esfuerzo cortante para fluidos newtonianos y no newtonianos.....          | 19     |
| Figura N° 3: Diagrama de flujo para obtención del extracto acuoso de quinua.....       | 36     |
| Figura N° 4: Diagrama de flujo para obtención del extracto acuoso de tarwi.....        | 38     |
| Figura N° 5: Diagrama de flujo para el yogurt batido .....                             | 41     |
| Figura N° 6: Gráfico de barras de sedimentación vs relación de producto:agua .....     | 51     |
| Figura N° 7: Gráfico de sedimentación vs relación de tarwi:agua .....                  | 52     |
| Figura N° 8: Gráfico de medias .....   | 53     |
| Figura N° 9: Gráfico de medias .....   | 53     |
| Figura N° 10: Viscosidad aparente vs el porcentaje de quinua y tarwi .....             | 57     |
| Figura N° 11: Medias y 95 % de Tukey HSD.....  | 58     |
| Figura N° 12: Gráfico de la viscosidad aparente vs el porcentaje de quinua y tarwi.... | 60     |
| Figura N° 13: Medias y 95 % de Tukey HSD.....  | 61     |
| Figura N° 14: Interacciones para la viscosidad .....                                   | 66     |
| Figura N° 15: Gráfico de Log EC vs Log N .....   | 67     |
| Figura N° 16: Gráfico de esfuerzo de corte vs relación de deformación .....            | 68     |
| Figura N° 17: Log EC vs Log N.....   | 69     |
| Figura N° 18: Esfuerzo de corte vs Relación de deformación.....                        | 70     |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   | Página |
|---|--------|
| Anexo N° 1: ANOVA de sedimentación de extracto acuoso de quinua.....            | 80     |
| Anexo N° 2: Pruebas de Rango múltiples para sedimentación quinua:agua .....     | 80     |
| Anexo N° 3: Datos de densidad del extracto acuoso de quinua .....               | 81     |
| Anexo N° 4: ANOVA de sedimentación del extracto acuoso de tarwi .....           | 82     |
| Anexo N° 5: Pruebas de Rango múltiples para la sedimentación de tarwi:agua..... | 82     |
| Anexo N° 6: Datos de densidad de extracto acuoso de tarwi sedimentado .....     | 83     |
| Anexo N° 7: ANOVA de la mezcla a 50 rpm.....                                    | 83     |
| Anexo N° 8: Pruebas de Rango múltiples para viscosidad aparente a 50 rpm .....  | 84     |
| Anexo N° 9: ANOVA de la mezcla extracto acuoso a 100 rpm.....                   | 84     |
| Anexo N° 10: Pruebas de Rango múltiples para viscosidad a 100 rpm .....         | 85     |
| Anexo N° 11: Tratamientos para el yogurt.....                                   | 85     |
| Anexo N° 12: Viscosidad aparente del Tratamiento 1 .....                        | 85     |
| Anexo N° 13: Viscosidad aparente del Tratamiento 2.....                         | 86     |
| Anexo N° 14: Viscosidad aparente del Tratamiento 3.....                         | 86     |
| Anexo N° 15: Viscosidad aparente del Tratamiento 4.....                         | 87     |
| Anexo N° 16: Viscosidad aparente del Tratamiento 5.....                         | 87     |
| Anexo N° 17: Viscosidad aparente del Tratamiento 6.....                         | 88     |
| Anexo N° 18: Viscosidad aparente del Tratamiento 7 .....                        | 88     |
| Anexo N° 19: Viscosidad aparente del Tratamiento 8.....                         | 89     |
| Anexo N° 20: ANOVA multifactorial del análisis de covarianza .....              | 89     |
| Anexo N° 21: Evaluación sensorial .....   | 90     |
| Anexo N° 22: Plantillas para la evaluación sensorial .....                      | 91     |
| Anexo N° 23: Evaluación sensorial del color .....                               | 93     |
| Anexo N° 24: Evaluación sensorial del olor .....                                | 94     |
| Anexo N° 25: Evaluación sensorial del sabor .....                               | 95     |
| Anexo N° 26: Evaluación sensorial de la consistencia.....                       | 96     |
| Anexo N° 27: Datos del viscosímetro Fungilab del yogurt batido .....            | 97     |
| Anexo N° 28: Datos del viscosímetro Fungilab del yogurt batido .....            | 98     |
| Anexo N° 29: Matriz de consistencia .....                                       | 99     |

## ABREVIATURAS

|            |   |   |
|------------|---|---|
| $g$        | : | Gramos                                      |
| HDL        | : | Lipoproteína de alta densidad               |
| INIA       | : | Instituto Nacional de Investigación Agraria |
| $k$        | : | Índice de consistencia                      |
| LDL        | : | Lipoproteína de alta densidad               |
| $m$        | : | Metros                                      |
| mL         | : | Mililitros                                  |
| $m_p$      | : | Masa del picnómetro                         |
| $m_{p+d}$  | : | Masa del picnómetro más muestra             |
| $m_{p+w}$  | : | Masa del picnómetro más agua                |
| $m_w$      | : | Masa del agua                               |
| $n$        | : | Índice comportamiento de flujo              |
| S/M        | : | Sin marca                                   |
| T          | : | Tratamiento                                 |
| TEAQ       | : | Tratamiento del extracto acuoso de quinua   |
| TEAT       | : | Tratamiento de extracto acuoso de tarwi     |
| TMAV       | : | Tratamiento de mayor velocidad 100 rpm      |
| TMEV       | : | Tratamiento de menor velocidad 50 rpm       |
| $V_w$      | : | Volumen del agua                            |
| $V_p$      | : | Volumen del picnómetro                      |
| $\rho_d$   | : | Densidad de la muestra                      |
| $\rho_w$   | : | Densidad del agua                           |
| INIA       | : | Instituto nacional de investigación agraria |
| $\alpha_i$ | : | Desviación de escala en el dial de torque   |

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| $N_i$            | : | Velocidad rotacional                                |
| KAT              | : | Constante para el numero de usillo                  |
| $KNY(n)$         | : | Constante para el índice de comportamiento de flujo |
| $\dot{\gamma}_i$ | : | Relación de deformación                             |
| $\Delta v_z$     | : | Velocidad cortante                                  |
| m/s              | : | Metros por segundo                                  |
| F                | : | Fuerza  |
| $\Delta y$       | : | Altura y/o separación                               |
| A                | : | Área  |
| Pa*s             | : | Pascales por segundo                                |
| Kg/m *s:         | : | Kilogramo metro por segundo                         |
| $\mu$            | : | Viscosidad  |
| $\sigma$         | : | Esfuerzo de corte                                   |
| $\sigma_c$       | : | Esfuerzo cortante                                   |
| ELN              | : | Extracto libre de nitrógeno                         |
| LogEC:           | : | Logaritmo del esfuerzo de corte                     |
| Log N :          | : | Logaritmo de las revoluciones por minuto (rpm)      |

## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo, evaluar el efecto de la sustitución parcial de la leche por quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) en las características reológicas del yogurt batido. Se evaluó el porcentaje de extracto acuoso de quinua tarwi mediante la sedimentación y el diseño completamente al azar (DCA). Así mismo, el efecto de la sustitución parcial de quinua y tarwi en el yogurt batido por un análisis de covarianza de  $2 \times 2 \times 2 \times 10$ . También se realizó evaluación sensorial a los tratamientos del yogurt batido para seleccionar el mejor tratamiento al cual se determinó el índice de consistencia del flujo ( $k$ ) e índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) mediante el método Mitschka. Adicionalmente se evaluaron las características fisicoquímicas del pH y la acidez mediante el método del potenciómetro y titulación respectivamente en los tratamientos con mayor aceptabilidad. Los tratamientos 4 y 5 del extracto acuoso de quinua (T4EAQ) con densidad de  $1072.67 \text{ kg/m}^3$  y  $1070.61 \text{ kg/m}^3$  presentaron mejores características de sedimentación a una relación de 1 quinua:1.3 agua: y 1quinua:1.6 agua. Al igual que el tratamiento 4 del extracto acuoso de tarwi (T4EAT) con densidad de  $1009.87 \text{ kg/m}^3$  y relación de 1 tarwi:1.6 agua. Para sustituir la leche, los niveles mínimos y máximos del extracto acuoso de quinua (EAQ) fueron 10 % y 20 % respectivamente y en el extracto acuosos de tarwi (EAT) fueron 4 % y 5 %. Por otro lado, la quinua y la interacción de quinua y tarwi tiene un efecto en la viscosidad del yogurt batido. Los yogures con mejor aceptabilidad fueron el tratamiento 4 (T4) con valores de  $n=0.2984$  y  $k=7.1908$  y el tratamiento 8 (T8) con  $n=0.3169$  y  $k=8.9692$ , confirmándose que el yogurt es un fluido no Newtoniano y seudoplástico. El producto obtenido presentó pH de 4.431 y 0.588 % de acidez para el tratamiento T4 y el T8 pH de 4.585 y 0.558 % de acidez. Por lo tanto, la sustitución parcial de la leche por los extractos acuosos de quinua y tarwi tiene un efecto sobre las características reológicas del yogurt batido ya que presenta valor-p menor a 0.05.

**Palabras clave:** Yogurt, reología, Extracto acuoso, índice de consistencia ( $k$ ), índice comportamiento de flujo ( $n$ ).

## ABSTRAC

The objective of the study was to evaluate the effect of the partial substitution of milk for quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) and tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) in the rheological characteristics of beaten yogurt. The percentage of aqueous extract of quinoa tarwi was evaluated by means of the sedimentation method and the completely randomized design (DCA). Likewise, the effect of the partial substitution of quinoa and tarwi in the yogurt beaten by a covariance analysis of 2x2x2x10. Sensory evaluation of the yoghurt shake treatments was also carried out, determining the flow consistency index (k) and flow behavior index (n) by the Mitschka method. Additionally, the physicochemical characteristics of the pH were evaluated by the potentiometer and acidity method by means of the titration method in the treatments with greater acceptability. Treatments 4 and 5 of the aqueous extract of quinoa (T4EAQ) with a density of 1072.67 kg/m<sup>3</sup> and 1070.61 kg/m<sup>3</sup> presented better sedimentation characteristics at a ratio of 1 quinoa: 1.3 water: and 1 quinoa: 1.6 water. Like the treatment 4 of the aqueous extract of tarwi (T4EAT) with density of 1009.87 kg/m<sup>3</sup> and ratio of 1 tarwi: 1.6 water. To replace the milk, the minimum and maximum levels of the aqueous extract of quinoa (EAQ) were 10% and 20% respectively and in the aqueous extract of tarwi (EAT) were 4% and 5%. On the other hand, quinoa and the interaction of quinoa and tarwi has an effect on the viscosity of the beaten yogurt. When performing the sensory evaluation, it was determined that the yogurt with treatment 4 (T4) showed better acceptability, determining values of  $n=0.2984$  and  $k=7.1908$  and treatment 8 (T8) with  $n=0.3169$  and  $k=8.9692$ . confirming that yogurt is a non-Newtonian and pseudoplastic fluid. The product obtained presented a pH of 4,431 and 0,588% acidity for the T4 treatment and the T8 pH of 4,585 and 0.558% acidity. Therefore, the partial substitution of the milk for the aqueous extracts of quinoa and tarwi has an effect on the rheological characteristics of the beaten yoghurt since it has p-value less than 0.05.

**Key words:** Yogurt, rheology, aqueous extract, consistency index (k), flow behavior index (n).

## CHUMASQA

Kay llankay kuskipa hatun qatipayninga karqa, llillipa allin kaynin kamyanchikpaq huk allin yuqur kinuwamanta (*Chenopodium quinua Willd*) tarwimantawan (*Lupinus mutabilis Sweet*) ruwasqaman. Chay kinuwa qapi tarwi qapintin huk qatipayman apachikurqa chay sidimintashun hinallataq imaymana ruwaynunman (DCA) hinallataq chaymantapas, apakurqa ñawpaqman kinuwapa tarwipawan kamyakuynin chay yugur ruwasqapi huk yuyaymanay DCCR 2x2x2x10 nisqantakama. Chaynallataq apakullarqataq chay yachay qatipay yuqur ruwasqamanta hinaspari chayarirqa ari qawarichikurq allinkayninta (*k*) hinaspa qawarichikullarqataq allinkayninta (*n*) chay Mitschka nisqantakama chayna ruwasqanmanta qawachikurqa allin kayninta (T4EAQ) chayarqa 1072.67 kg/m<sup>3</sup> lawakayninman hutaq llinkikayninman hinallataq pichqamiqi yachay kinuwa qapimanta (T5EAQ) chayarqa 1070.61 kg/m<sup>3</sup> llinkukayninman hinaspa rikrichikurqa allin kayninta chay kinuwa yaku 1:1.3 hinallataq 1:1.6 qatiyllampi. Chaynallataq, chaymantapas, tawa taqi chachay tarwi qampimanta (T4EAT) rikrichikurqa 1009.87 kg/m<sup>3</sup> llinkikayninwan hinallataq tupanachispa tarwi yaku chayarqa kay 1:1.6 nisqanman, chaynaqa qawarichikurqa allinkayninta. Llilli kanyapaqa uchuykaynin hinallataq hatunkaynin kinuwa qapipa (EAQ) chayarqa 10% hinallataq 20% nisqanman hichaqa tarwi qapiñataq (EAT) hayparqa 4% - 5% nisqankallama. Huk lawnintañataq kinuwa huñu ruway kinuwa tarwintin karqa allin llinkikaynin chay yuqur ruwasqapi.allinruwasqa kayninmanta, taqyarichikurqa allin chiqap kayninta yuqur qapisqa (ruwasqa) chay 4 (T4) paywan  $n=0.2984$  hinallataq  $k=7.1908$  hinaspa kay yachay 8 (T8) paywan  $n=0.3169$ ,  $k=8.9692$ , nisqanmanta llusqirqa fluido Newtoniano nisqan. Quipakayninpi, chay tarwi-kinuwantin qapisqa puqurqa kinsa ura nisqan huk  $pH=4.431$  aypananpaq chay yachay tawa taqinapaq 4 (T4) hinallataq pusaq taqi yachaypaq 8 (T8) huk  $pH=4.585$  niqan. Chay qatqiyinpaq, apakurqa T4 hinaspa huk chaninchayman 0.558% nisqanman, hinallataq T8 huk chaninchayman 0.558% nisqasman. Qinaspa, chay lecheyman qinaptin quinua chumasqa y tarwi chumasqa qukmayancharin reología nisqaman yugurpi valor-p < 0.05 nisqawan.

**Chaninchasqa rimariykuna:** Yugur, reología, qawarichikurq allinkayninta (*k*), qawarichikurq flujo nisqan (*n*).

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En los productos lácteos y en específico en los yogures, el mercado actual demanda distintos productos que presentan una aceptación respecto a la consistencia. Esto genera la tendencia hacia el uso de estabilizantes o gomas obteniéndose una mejor viscosidad y consistencia del yogurt. Para evitar el uso de estos insumos, el extracto acuoso de la quinua presenta almidón que tiene una gran capacidad de absorber agua e incrementar la viscosidad de un medio acuoso y mejorar este aspecto reológico. También, encontramos al tarwi, el cual se ha utilizado en la elaboración de yogurt como lo han demostrado investigaciones realizadas.

La presente investigación demuestra el efecto de la adición de quinua y tarwi en las características reológicas (índice de consistencia e índice de comportamiento de flujo) del yogurt batido mediante la metodología Mitschka. Para poder lograr el estudio reológico del yogurt batido, en primer lugar, es necesario el estudio de la obtención del extracto acuoso de quinua y de tarwi, los cuales serán sustituidos por la leche en un determinado nivel en porcentaje, el cual generara un cambio en sus características reológicas. Al obtener los extractos acuosos, es necesario obtener la concentración adecuada expresado en porcentajes del extracto acuoso de quinua y de tarwi para reducir las alteraciones en las propiedades físicas de la leche antes de ser procesado en yogurt. Por lo cual, el presente estudio tiene los siguientes objetivos.

- Obtener el extracto acuoso de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*).
- Determinar la proporción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) para obtener yogurt batido.
- Determinar las características reológicas ( $k$  y  $n$ ) y fisicoquímicas al mejor yogurt batido de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*).

## CAPITULO 2: REVISIÓN LITERARIA

### 2.1. Antecedentes

Ganoza y Rodríguez, (2008), evaluaron el efecto de la adición de harina de quinua en la viscosidad del yogurt natural. Además, evaluaron las características reológicas a 10 y 15 °C, encontrando diferencias significativas en la viscosidad aparente con valores medios de 130,5 Pa.s, 106,7 Pa.s y 93,5 Pa.s.

Castañeda, *et al* (2008) realizaron un estudio con la finalidad de establecer pruebas preliminares para la formulación y elaboración de un yogur en base a harina de tarwi y que tenga aceptabilidad por el consumidor. Donde realizaron sustituciones parciales con concentraciones de 20 y 30 % de leche de tarwi. A los cuales evaluaron los atributos sensoriales de aroma, sabor y aceptabilidad; al realizar el análisis estadístico reportaron que no presentaron diferencia estadística los atributos sensoriales según análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

Por otro lado, Ojeda, (2010) ha realizado investigaciones con el objetivo de elaborar yogurt enriquecido con quinua. Donde señala que la formulación adecuada para un envase de capacidad de 250 g es de 214.25 g de leche, 8.75 g. de azúcar, 2 g de harina de quinua. Mientras que, Pereira (2010), menciona que la relación de quinua:agua adecuada para la elaboración de leche de quinua (extracto acuoso de quinua) es de 1:1.4 el cual presenta 55.33 % de sólidos sedimentados y un 44.67 % de sobrenadante.

Bianchi, (2013) desarrollo una bebida fermentada basado en extractos acuosos de quinua y la soja. Donde, encontró un aumento en la viscosidad y la consistencia en bebidas con más alta proporción de extracto de quinua. Mientras que Rivera y Soto, (2015) elaboró yogurt de tarwi frutado con piña, donde evaluó el efecto de la ingesta sobre la desnutrición aguda. En este estudio encontró que el producto de mejor aceptación 34 % de tarwi. Por otro lado, Colque (2016), menciona que para obtener el extracto acuoso de tarwi, la mejor concentración en la preparación es en una relación de 1:2 (tarwi:agua)

Segovia, Villares y Paredes, (2007) elaboro yogurt con extracto acuoso de tarwi, donde encontró que el tiempo de fermentación fue de 3.5 horas a 40 °C utilizando como inóculo *Streptococcus thermophilus* y

Lactobacillus bulgaricus a una concentración de 2.5 a 3%. Además, obtuvieron una acidez de 0.65 % (expresado como el ácido láctico) y un pH de 4.3. Mientras que Zumaeta (2016) obtuvo variaciones del pH en la bebida láctea fermentada de tarwi. Los valores que obtenidos fueron 4.65, 4.63 y finalmente el 4.56.

Por otro lado, Segovia, Villares y Paredes, (2007), respecto a las características reológicas concluyeron que el yogurt obtenido fue un fluido pseudoplástico con un índice de comportamiento de flujo " $n$ " igual a 0.34 y el índice de consistencia " $k$ " igual a 0.51 Pa.s. Adicionalmente, determinaron que el yogurt de chocho es de textura normal con una viscosidad real promedio de 0.35 Pa.s. Además, Escobar (2015) obtuvo resultados del análisis reológico de todas las muestras de yogurt, mostraron un valor de  $n < 1$ , con lo cual quedó demostrado su comportamiento no newtoniano y pseudoplástico. Respecto a la viscosidad de la leche mejorada con sólidos, Ramirez y Vélez (2009) al mejorar las características físicas de la leche incrementando los sólidos para su procesamiento a yogurt, obtuvieron una viscosidad de 537.63 Pa.s

Pichihua, (2016) utilizó la harina de quinua al 2, 3 y 4 % para la elaboración del yogurt. En donde determinó que la adición de harina de quinua influye en las propiedades organolépticas como la apariencia y la consistencia. Por otro lado, encontró que la adición de harina de quinua tiene un efecto estadísticamente significativo en las características fisicoquímicas como la acidez y el pH.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. La leche**

Debido a su alto valor nutritivo, las leches, en general, representan el alimento más balanceado y apropiado para el consumo. Además de proporcionar prácticamente todos los nutrientes necesarios, también contienen diferentes sustancias que actúan como parte fundamental de los sistemas inmunológico y de protección (Badui, 2006).

Adicionalmente, el Codex Alimentarius, (2018) menciona que el yogurt es un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede haber sido elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con o sin modificaciones en la composición por medio de la acción de

microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación (precipitación isoeléctrica).

#### **2.2.1.1. Composición de la leche**

En general, la leche está constituida por agua, grasas, proteínas, azúcares, vitaminas y minerales, además de otras sustancias que están presentes en menor concentración y que en conjunto forman un sistema fisicoquímico estable de más de 450 compuestos; esto se debe a que todos sus ingredientes se encuentran en equilibrio (Badui, 2006).

Los sólidos totales (grasa y sólidos no grasos) representan del 11 al 15 % de su composición y varían de acuerdo con muchos factores, tales como raza y edad de la vaca, tipo y frecuencia de la alimentación, estado de lactación, temperatura ambiente, enfermedades, época del año, hora del día de la ordeña, etc. (Badui, 2006).

Por otro lado, se tiene a la lactosa, el cual solo se encuentra en las leches, representando su principal hidrato de carbono y considerado por algunos autores como el único; sin embargo, también se ha identificado a pequeñas cantidades de glucosa (6 mg/100 mL), galactosa (2 mg/100 mL), sacarosa, cerebrósidos y aminoazúcares derivados de la hexosamina. A pesar de que estos últimos están en concentraciones muy bajas, llegan a ejercer una influencia en la estabilidad de la leche, sobre todo cuando se somete a tratamientos térmicos intensos (Badui, 2006).

La leche también contiene enzimas que se encuentran en baja concentración, están distribuidas en la leche tanto unidas a las miscelas de caseínas o a la membrana del glóbulo de grasa, como en forma libre en el suero, y se sintetizan en la glándula mamaria, aunque algunas de ellas provienen de contaminaciones microbianas (Badui, 2006).

Respecto a las vitaminas, la leche fresca, recién ordeñada, contiene la mayoría de las vitaminas, aun cuando algunas de ellas están en concentraciones muy bajas, insuficientes para satisfacer las necesidades diarias del hombre. Las vitaminas liposolubles A, D, E y K se encuentran interaccionando con los glóbulos de grasa, principalmente en la membrana; la primera se presenta en mucho mayor proporción que las otras tres. Su contenido en la leche depende de la dieta de la vaca. Por su parte, en el suero se localizan las hidrosolubles, tales como riboflavina, B6, B12, C, biotina, niacina, tiamina, folatos y ácido pantoténico; sus

concentraciones no dependen tanto de la dieta de la vaca y permanecen más o menos constantes. A pesar de que la niacina se encuentra en baja concentración, la leche es una buena fuente de esta vitamina por su alto contenido de triptófano, precursor de ésta en el cuerpo humano. La microflora intestinal de la vaca sintetiza varias vitaminas del grupo B y la K, y una alta proporción se absorbe a través de la pared intestinal y luego se incorpora a la leche (Badui, 2006).

Por último, La leche contiene varias sales, de las que destacan los citratos, cloruros, bicarbonatos y fosfatos de calcio, magnesio, sodio y potasio, los cuales se encuentran en solución o formando parte del sistema coloidal de las caseínas. Las sales desempeñan un papel muy importante en la estabilidad térmica de todos los productos lácteos. En la leche se encuentran también otros elementos como el aluminio, boro, bromo, cobre, yodo, hierro, magnesio, manganeso, cromo, níquel, cinc y rastros de arsénico, cobalto y plomo (Badui, 2006).

### **2.2.2. Yogurt**

El yogurt es un derivado de la leche que se obtiene al añadir a la leche hervida, entera o desnatada, los fermentos que degradan la lactosa y la transforman en ácido láctico (Ramirez, 2010).

La FAO mencionado por Ramirez (2010) define el yogurt como la leche coagulada obtenida por la fermentación láctica acida debido a las bacterias *L. bulgaricus* y *S. thermophilus* sobre leche pasteurizada o concentrada, con o sin adición de leche en polvo, etc. Los microorganismos del producto final deben ser viables o abundantes.

Estas bacterias lácticas son sembradas sobre leche previamente pasteurizada, con el objeto de eliminar la mayor parte o la totalidad de la flora microbiana original. Después de la fermentación, el yogurt es enfriado a una temperatura comprendida entre 1 °C y 10 °C, con la exclusión de cualquier otro tratamiento térmico. Entonces está listo para su consumo (Ramirez, 2010).

#### **2.2.2.1. Aporte nutricional**

Sobre el aporte nutricional del yogurt Ramirez (2010) menciona lo siguiente:

La composición química del yogurt está basada en la composición química de la leche y en los sucesivos cambios de los constituyentes de la leche que ocurren durante la fermentación láctica.

La composición de la leche es influenciada por factores tales como especies y diferencias de raza, variabilidad individual, etapa de lactación, edad, alimentación del ganado en todo el año, etc. por procesamiento tales como concentración de leche, normalización del contenido de grasa, adición de leche en polvo, calentamiento excesivo de leche, exposición a la luz y otros.

En la tabla N° 1 se muestran los componentes químicos y valores calóricos del yogurt de leche de vaca.

Tabla N° 1: Contenido nutricional del yogurt

| Contenido en nutrientes por 100 g de yogurt |                |
|---|----------------|
| <b>Macronutrientes</b>                      | Yogurt natural |
| Energía (Kcal)                              | 55.5           |
| Grasa (g)                                   | 2.6            |
| Proteínas (g)                               | 4.2            |
| Hidratos de carbono (g)                     | 5.5            |
| <b>Vitaminas</b>                            |                |
| Vitaminas A (ER)                            | 9.8            |
| Tiamina (B1) (mg)                           | 0.04           |
| Riboflavina (B2)                            | 0.03           |
| Piridoxina (B6) (mg)                        | 0.05           |
| Vitamina (B12) (µg)                         | Tr             |
| Ácido fólico (µg)                           | 3.7            |
| Niacina (EN)                                | 1.5            |
| Vitamina (C) (mg)                           | 0.7            |
| Vitamina (D) (mg)                           | 0.06           |
| Vitamina (E) (mg)                           | 0.04           |
| <b>Minerales</b>                            |                |
| Calcio (mg)                                 | 142            |
| Fosforo (mg)                                | 90             |
| Cinc (mg)                                   | 0.59           |
| Hierro (mg)                                 | 0.09           |
| Yodo (mg)                                   | 3.7            |
| Magnesio (mg)                               | 14.3           |
| Potasio (mg)                                | 214            |
| Sodio (mg)                                  | 63             |
| Zinc (mg)                                   | 0.59           |

Fuente: Ramirez (2010)

Los cambios químicos de los constituyentes de la leche, durante la fermentación resulta con reducción de lactosa y formación considerable de ácido láctico, con incremento de péptidos libres, aminoácidos y ácidos grasos y con considerables cambios de algunas vitaminas. El valor calórico del yogurt es disminuido en 3-4 % debido a la transformación de la lactosa en ácido láctico.

#### **2.2.2.2. Reología en el yogurt**

Muchos factores afectan la reología de yogurt, como sólidos, contenido de proteína y grasa, temperaturas de tratamiento térmico de la leche y fermentación, presión de homogeneización, etc. Así que el objetivo de estudios reológicos es verificar la estabilidad estructural de la comida por delante de posibles procesos, permitiendo el correcto dimensionamiento de bombas, tuberías, intercambiadores de calor, agitación y embotellado de operaciones, etc., sin afectar la calidad del producto final. Además de éstos, otras aplicaciones de estudios reológicos son el control de calidad, análisis sensorial y vida útil (Mathias, Junior, De Carvalho, y Sérvulo, 2011).

Los parámetros reológicos en general pueden ser afectados por el crecimiento de las bacterias utilizadas durante la fermentación; ya que en esta etapa se producen cambios en la composición nutricional del producto lácteo fermentado (consumo de lactosa y producción de ácidos) y se originan metabolitos tales como acetaldehído, diacetilos, ácido láctico y otros compuestos orgánicos que contribuyen enormemente con las características sensoriales del yogurt, pero que pueden afectar la viabilidad de la bacteria de interés, conllevando a una disminución en las actividades enzimáticas de la bacteria probiótica por efecto de la acumulación de dichos metabolitos (Cuello, Mendoza, y Suarez, 2014).

#### **2.2.3. La quinua**

La quinua es una planta del género *Chenopodium* es el principal dentro de la familia Chenopodiaceae y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (IV Congreso mundial de la quinua, 2007). La clasificación actual de la planta en estudio se muestra a continuación según Mujica, Izquierdo, y Marathe, (2001).

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledónea

Subclase: Archiclamidea

Orden: Centrosperma

Familia: Chenopodioideae

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Sub sección: Cellullata

Especie: ***Chenopodium quinoa Willd***

Fuente: Mujica, Izquierdo, y Marathee, (2001)

#### **2.2.3.1. Descripción botánica**

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, usualmente herbácea, que alcanza una altura de 2 a 3 m. Las plantas pueden presentar diversos colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre estos. El tallo principal puede ser ramificado o no, depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz. Las hojas son de carácter polimórfico en una sola planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores generalmente alrededor de la panoja son lanceoladas. Su color va desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y el violeta, según la naturaleza y la importancia de los pigmentos. Son dentadas en el borde pudiendo tener hasta 43 dientes. La inflorescencia es racimosa y se denomina panoja por tener un eje principal más desarrollado. El fruto es un aquenio indehiscente que contiene un grano que puede alcanzar hasta 2,66 mm de diámetro de acuerdo a la variedad según Rojas, (2003) citado por (FAO, 2011).

#### **2.2.3.2. Propiedades nutricionales**

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional como se muestra en la tabla N° 2. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13.81 y 21.9 % dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran

extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (FAO, 2011).

Tabla N° 2: Composición del valor nutritivo de la quinua (%)

| Componentes (%)     | Quinua |
|---------------------|--------|
| Proteínas           | 13,00  |
| Grasas              | 6,10   |
| Hidratos de carbono | 71,00  |
| Azúcar              |        |
| Hierro              | 5,20   |
| Calorías 100 g      | 350    |

Fuente: Informe Agroalimentario, (2009) MDRT-Bolivia, citado por FAO, (2011)

Una característica fundamental de la quinua es que el grano, las hojas y las inflorescencias son fuentes de proteínas de muy buena calidad. La calidad nutricional del grano es importante por su contenido y calidad proteínica, siendo rico en los aminoácidos lisina y azufrados.

Sin embargo, a pesar de su buen contenido de nutrientes, las investigaciones realizadas concluyen que los aminoácidos de la proteína en la harina cruda y sin lavar no están del todo disponibles, porque contienen sustancias que interfieren con la utilización biológica de los nutrientes. Estas sustancias son los glucósidos denominados saponinas (FAO, 2011).

Según FAO/OMS/UNU, (1985) citado por FAO, (2011), entre el 16 y el 20 % del peso de una semilla de quinua lo constituyen proteínas de alto valor biológico, entre ellas todos los aminoácidos, incluidos los esenciales, es decir, los que el organismo es incapaz de fabricar y por tanto requiere ingerirlos con la alimentación. Los valores del contenido de aminoácidos en la proteína de los granos de quinua cubren los requerimientos de aminoácidos recomendados para niños en edad preescolar, escolar y adultos.

La excepcional riqueza en aminoácidos que tiene la quinua le confiere propiedades terapéuticas muy interesantes. Y ello porque la biodisponibilidad de la lisina de la quinua (aminoácido esencial más abundante en sus semillas). Este aminoácido que mejora la función inmunitaria al colaborar en la formación de anticuerpos, favorece la

función gástrica, colabora en la reparación celular, participa en el metabolismo de los ácidos grasos, ayuda al transporte y absorción del calcio e, incluso, parece retardar o impedir junto con la vitamina C las metástasis cancerosas, por mencionar sólo algunas de sus numerosas actividades terapéuticas. En cuanto a la isoleucina, la leucina y la valina participan, juntos, en la producción de energía muscular, mejoran los trastornos neuromusculares, previenen el daño hepático y permiten mantener en equilibrio los niveles de azúcar en sangre, entre otras funciones. Por lo que respecta a la metionina se sabe que el hígado la utiliza para producir s-adenosi-metionina, una sustancia especialmente eficaz para tratar enfermedades hepáticas, depresión, osteoartritis, trastornos cerebrales, fibromialgia y fatiga crónica, entre otras dolencias. Además, actúa como potente agente destoxicador que disminuye de forma considerable los niveles de metales pesados en el organismo y ejerce una importante protección frente a los radicales libres. La quinua también contiene cantidades interesantes de fenilalanina (un estimulante cerebral y elemento principal de los neurotransmisores que promueven el estado de alerta y el alivio del dolor y de la depresión, entre otras funciones), de treonina (que interviene en las labores de desintoxicación del hígado, participa en la formación de colágeno y elastina, y facilita la absorción de otros nutrientes) y triptófano (precursor inmediato del neurotransmisor serotonina por lo que se utiliza con éxito en casos de depresión, estrés, ansiedad, insomnio y conducta compulsiva). Por lo que respecta a los aminoácidos “no esenciales” la quinua contiene histidina, sustancia que sí es esencial en el caso de los bebés ya que el organismo no la puede sintetizar hasta ser adultos por lo que es muy recomendable que los niños la adquieran mediante la alimentación, especialmente en épocas de crecimiento. Además, tiene una acción ligeramente antiinflamatoria y participa en el sistema de respuesta inmunitaria. La arginina, por su parte, también es considerada un aminoácido casi esencial en la infancia, niñez y adolescencia ya que estimula la producción y liberación de la hormona de crecimiento. En cuanto a la alanina es fuente de energía para músculos, cerebro y sistema nervioso y la glicina actúa como un neurotransmisor tranquilizante en el cerebro y como regulador de la función motora.

Además, la prolina participa en la reparación de las articulaciones, es necesaria para la cicatrización de lesiones y úlceras, parece ser eficaz para tratar los casos de impotencia y frigidez, es protector cardiovascular y se utiliza junto a la lisina y la vitamina C para impedir o limitar las metástasis cancerosas. Tampoco es común en los cereales corrientes el ácido aspártico (que mejora la función hepática y es indispensable para el mantenimiento del sistema cardiovascular), el ácido glutámico (que participa en los procesos de producción de energía para el cerebro y en fenómenos tan importantes como el aprendizaje, la memorización y la plasticidad neuronal), la cisteína (protector hepático al unirse a los metales pesados para favorecer su eliminación además de destruir radicales libres y potenciar el sistema inmune), la serina (potente agente hidratante natural) y la tirosina (que tiene un importante efecto antiestrés y juega un papel fundamental en el alivio de la depresión y la ansiedad, entre otras funciones) (FAO, 2011).

También la quinua presenta contenidos grasos. Estudios realizados en el Perú al determinar el contenido de ácidos grasos encontraron que el mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en este aceite es el Omega 6 (ácido linoleico), siendo de 50.24 % para quinua. El Omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar, siendo 26.04 % para aceite de quinua. Los valores encontrados para el Omega 3 (ácido linolénico) son de 4.77 %, seguido del ácido palmítico con 9.59 %. Además de ácidos grasos en pequeña proporción, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico. Por otro lado, La quinua ayuda a reducir el colesterol LDL (o colesterol malo) del organismo y elevar el colesterol HDL (o colesterol bueno) gracias a su contenido en ácidos grasos omega 3 y omega 6 (FAO, 2011).

Por otro lado, se tiene los carbohidratos de las semillas de quinua que contienen entre un 58 y 68 % de almidón y un 5 % de azúcares, lo que la convierte en una fuente óptima de energía que se libera en el organismo de forma lenta por su importante cantidad de fibra (Llorente, 2008).

Según la FAO, (2011) el almidón en las plantas se encuentra en la forma de gránulos. Los gránulos de cada especie tienen tamaño y forma

característicos. Los gránulos del almidón de la quinua tienen un diámetro de 2  $\mu$ m, siendo más pequeños que los granos comunes.

Respecto a los minerales, la quinua es un alimento muy rico en Calcio, fácilmente absorbible por el organismo, por lo que su ingesta ayuda a evitar la descalcificación y la osteoporosis. El contenido de calcio en la quinua se encuentra entre 46 a 340 mg/100 g de materia seca. Además, este mineral es responsable de muchas funciones estructurales de los tejidos duros y blandos del organismo, así como de la regulación de la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, la secreción celular y la coagulación sanguínea. Por esta razón el calcio es un componente esencial de la alimentación. También se puede encontrar Magnesio, que es un activador de muchas enzimas, especialmente aquellas que transforman fosfatos ricos en energía, además, es un estabilizador de los ácidos nucleicos y de las membranas. Además, la quinua contiene Hierro, Potasio Fósforo Zinc Manganeso (FAO, 2011) y Pequeñas cantidades de cobre y de litio (Llorente, 2008).

En lo que respecta a las vitaminas, la quinua presenta la vitamina A, que es importante para la visión, la diferenciación celular, el desarrollo embrionario, la respuesta inmunitaria, el gusto, la audición, el apetito y el desarrollo, está presente en la quinua en rango de 0,12 a 0,53 mg/100 g de materia seca (Olso, 1997), citado por (FAO, 2011). Mientras que la vitamina E tiene propiedades antioxidantes e impide la peroxidación de los lípidos, contribuyendo de esta forma a mantener estable la estructura de las membranas celulares y proteger al sistema nervioso, el músculo y la retina de la oxidación (FAO, 2011). En la tabla N° 3 se muestra el contenido de vitaminas la quinua.

Tabla N° 3: Contenido de vitaminas en el grano de quinua.

| Vitaminas              | Rango       |
|------------------------|-------------|
| Vitamina A (carotenos) | 0.12 - 0.53 |
| Vitamina E             | 4.60 - 5,90 |
| Tiamina                | 0.05 - 0.60 |
| Riboflavina            | 0.20 - 0.46 |
| Niacina                | 0.16 - 1.60 |
| Ácido Ascórbico        | 0.00 - 8.50 |

Fuente: Ruales et al., 1992, citado por FAO, (2011)

#### 2.2.4. El tarwi

El tarwi es una leguminosa anual, conocido como chocho en el norte de Perú y Ecuador, tarwi en el centro del Perú y tauri en el sur del Perú y Bolivia (chuchus en Cochabamba, Bolivia). Ésta leguminosa se cultiva tradicionalmente en los Andes desde los 1,500 m, encontrándose en Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile, Argentina y Perú (Borja, 2014).

La clasificación actual de la planta en estudio se muestra a continuación según (Edquén, 2012):

Reino: Vegetal

División: Fenerógama

Clase: Dicotiledonea

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Lupinus*

Especie: ***Lupinus mutabilis***

Nombre común: tarwi, lupino, chocho.

Fuente: Edquén, (2012)

##### 2.2.4.1. Descripción botánica

Las hojas tienen forma alargada, generalmente compuesta por ocho folíolos que varían entre ovalados a lanceolados. Referente a las semillas de tarwi, están incluidas en número variable en una vaina de 5 a 12 cm y varían de forma (redonda, ovalada a casi cuadrangular), miden entre 0,5 a 1,5 cm (Borja, 2014). La semilla está recubierta por un tegumento endurecido que puede constituir hasta el 10 % del peso total (Borja, 2014). Los colores del grano incluyen blanco, amarillo, gris, ocre, pardo, castaño, marrón y colores combinados como marmoleado, media luna, ceja y salpicado (Navarrete, 2010). La forma de cada cotiledón es de casquete y el volumen, promedio, es de 0.3368 cm<sup>3</sup>/semilla, variando entre 0.2975 y 0.3722 cm<sup>3</sup> de acuerdo con la desviación estándar del diámetro ortogonal (Ortega, Rodríguez, Arturo, y Zamora, 2010). Se estima que su espesor es de 0.20 mm, no obstante, varía de acuerdo con la zona cubierta. El tegumento que cubre el borde longitudinal de los cotiledones tiene un espesor de 0.27 mm, el del borde transversal de los

cotiledones 0.18 mm y la zona superficial 0.15 mm (Ortega, Rodríguez, Arturo, y Zamora, 2010).

#### 2.2.4.2. Composición química y valor nutricional

El grano de tarwi (*Lupinus mutabilis*) es rico en proteínas y grasas, con mayor frecuencia, su contenido proteico es superior al de la soya. Sus semillas son usadas de forma tradicional en la alimentación humana, debido al alto contenido de proteínas, las propiedades funcionales de sus componentes en matrices alimentarias y las potencialidades nutraceuticas de algunas de sus proteínas. Además, es considerado una especie nativa con elevado contenido de proteínas y aceites a nivel mundial (Borja, 2014). En la tabla N° 4 se muestra el porcentaje de ácidos grasos del tarwi o chocho.

Tabla N° 4: Porcentaje de ácidos grasos del tarwi

| Ácidos                 | %    |
|------------------------|------|
| Oleico (Omega 9)       | 40.4 |
| Linoleico (Omega 6)    | 37.1 |
| Linolénico (Omega 3)   | 2.9  |
| Palmítico              | 13.4 |
| Palmitoleico           | 0.2  |
| Esteárico              | 5.7  |
| Mirístico              | 0.6  |
| Araquídico             | 0.2  |
| Behénico               | 0.2  |
| Erúsico                | 0.0  |
| Cociente Polisat/satur | 2.0  |

Fuente: Borja, (2014)

Sus proteínas y aceites constituyen más de la mitad de su peso, estudios realizados en más de 300 diferentes genotipos muestran que la proteína varía de 41.0 a 51.0 % y el aceite de 14.0 a 24.0 %. En base al análisis bromatológico, posee en promedio proteína 35.5 %, aceites 16.9 %, fibra cruda 7.65 %, cenizas 4.15 % y carbohidratos 35.77 % (97.98). Las globulinas corresponden a la mayor fracción proteica, siendo la albúmina la restante (Borja, 2014). En cuanto a los contenidos de ácidos grasos del tarwi, la tabla N° 5 muestra la composición de aminoácidos del tarwi, se destaca la presencia de ácidos grasos poliinsaturados como el

ácido alfa linolénico (Omega 3), ácido linoléico (Omega 6) y el oleico (Omega 9) en cantidades significativas (Navarrete, 2010).

La proteína del tarwi contiene cantidades adecuadas de lisina y cistina, y carece de aminoácidos que contienen azufre tales como metionina (Borja, 2014).

Por lo que se refiere al contenido de alcaloides, en el tarwi varía de 0.02 a 4.45 %; los alcaloides reportados son los quinolizidinicos tales como: lupina, esparteína, 13-hidroxilupanina, 4-hidroxilupanina, isolupanina, entre otros. Las lupininas (27.0 a 74.0 %) están presentes en mayor proporción. Estos alcaloides quinolizidinicos otorgan el sabor amargo a la semilla y son considerados sustancias anti nutritivas (Borja, 2014).

Tabla N° 5: Contenido de aminoácidos del tarwi.

| Aminoácido   | Tarwi* |
|--------------|--------|
| Isoleucina   | 4,3    |
| Leucina      | 7,4    |
| Lisina       | 5,3    |
| Metionina    | 0,4    |
| Fenilalanina | 3,4    |
| treonina     | 3,5    |
| Valina       | 3,5    |
| Histidina    | 2,2    |
| Tirosina     | 3,5    |
| Triptófano   | 1,8    |

\*Expresado en g/16 g de N

Fuente: Borja, (2014)

Se considera que un contenido de 0.02 % de alcaloides remanentes después del desamargado es el límite que se puede aceptar como seguro para el consumo humano (Borja, 2014).

Las vitaminas y minerales del tarwi tienen una gran similitud con otras semillas de leguminosas en relación a vitaminas y minerales, encontrándose una mayor concentración no tan significativa de fosforo y magnesio. Por tanto, el tarwi es una fuente importante de fosforo, magnesio y potasio para el hombre.

El calcio se encuentra principalmente en la cáscara, por tanto, si se requiere de este mineral, lo aconsejable es consumirlo completo, al contrario del fosforo que se encuentra en el núcleo del grano de tarwi (Borja, 2014).

El grano de tarwi también es una valiosa fuente de vitamina B en sus formas como tiamina (B1), rivoftamina (B2), niacina (B3), asemejándose a otros tipos de leguminosas (Borja, 2014). En la tabla N° 6 se muestra el contenido de minerales del tarwi.

Tabla N° 6: Contenido de minerales en el grano del tarwi

| Macro elementos | mg/g          | Micro elementos | mg/kg         |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Calcio          | 1,07 - 1,53   | Hierro          | 46,00 - 73,3  |
| Magnesio        | 2,00 - 3,02   | Zinc            | 40,00 - 51,66 |
| Sodio           | 0,25 - 0,75   | Manganeso       | 21,33 - 29,10 |
| Potasio         | 11,06 - 13,56 | Cobre           | 4,00 - 12,10  |
| Fósforo         | 0,44 - 0,88   |                 |               |

Fuente: Borja, (2014)

### 2.2.5. Viscosidad de los fluidos

Geankoplis (2009) en su libro menciona sobre los fluidos que:

Cuando un fluido fluye a través de un canal cerrado, esto es, una tubería o entre dos placas planas, se representan dos tipos de flujo, dependiendo de la velocidad de dicho fluido. A velocidades bajas, el fluido tiende a fluir sin mezclado lateral y las capas adyacentes se resbalan unas sobre las otras. En este caso no hay corrientes cruzadas perpendiculares a la dirección del flujo, ni tampoco remolinos de fluido. A este régimen o tipo de flujo se le llama flujo laminar. A velocidades más altas se forman remolinos, lo que conduce a un mezclado lateral. Esto se llama flujo turbulento. En esta sección nos limitaremos a estudiar el flujo laminar.

Con respecto a la viscosidad, un fluido puede diferenciarse de un sólido por su comportamiento cuando se somete a un esfuerzo (fuerza por unidad de área) o fuerza aplicada. Un sólido elástico se deforma en una magnitud proporcional similar al esfuerzo aplicado. Sin embargo, cuando un fluido se somete a un esfuerzo aplicado similar continúa deformándose, esto es, fluye a una velocidad que aumenta con el esfuerzo creciente. Un fluido exhibe resistencia a este esfuerzo. La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas

adyacentes en el fluido. Estas fuerzas viscosas se originan de las que existen entre las moléculas del fluido y son de carácter similar a las fuerzas cortantes de los sólidos.

Estas ideas resultarán más claras al estudiar la viscosidad desde un punto de vista cuantitativo. En la figura N° 1 se muestra un fluido encerrado entre dos placas paralelas infinitas (muy largas y muy anchas). Supóngase que la placa inferior se desplaza paralelamente a la superior a una velocidad constante  $\Delta v_z$  m/s mayor que la de la placa superior, debido a la aplicación de una fuerza uniforme de  $F$  newtons. Esta fuerza se llama retardo viscoso y tiene su origen en las fuerzas viscosas del fluido. Las placas tienen una separación  $\Delta y$  m. Todas las capas del líquido se desplazan en la dirección  $z$ . La capa inmediatamente adyacente a la placa inferior se desplaza a la velocidad de dicha placa. La capa que le sigue hacia arriba se mueve a una velocidad un poco menor, y cada una de ellas tiene una velocidad un poco menor que la anterior al recorrer el fluido en la dirección  $y$ . Este perfil de velocidades es lineal con respecto a la dirección  $y$ , tal como se muestra en la figura N° 1.

Para muchos fluidos se ha determinado en forma experimental que la fuerza  $F$  en newtons es directamente proporcional a la velocidad  $\Delta v_z$  m/s, el área  $A$  en  $m^2$  de la placa usada, e inversamente proporcional a la distancia  $\Delta y$  m. Expresada con la ley de viscosidad de Newton cuando el flujo es laminar,

$$\frac{F}{A} = -\mu \frac{\Delta v_y}{\Delta y} \quad \text{Ecuación N° 1}$$

Donde  $\mu$ ; es una constante de proporcionalidad llamada viscosidad del fluido en  $Pa*s$  o  $kg/m*s$ . Cuando  $\Delta y$  tiende a cero y usando la definición de derivada,

$$\tau_{yz} = -\mu \frac{dv_z}{dy} \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Donde  $\tau_{yz} = F/A$  es el esfuerzo cortante o fuerza por unidad de área en  $newtons/m^2$  ( $N/m^2$ )

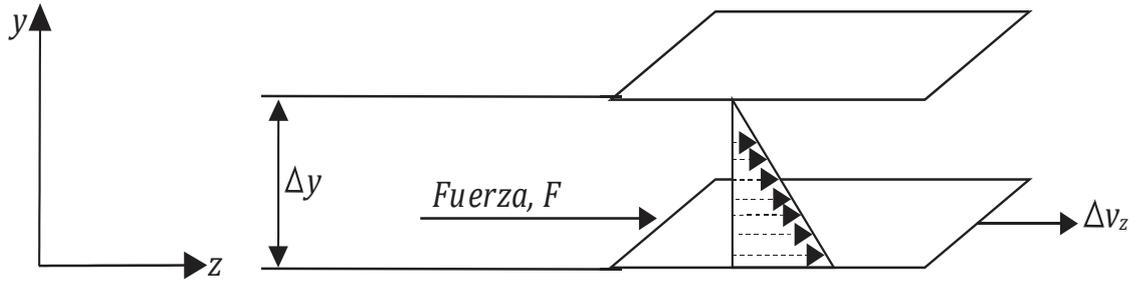


Figura N° 1: Esfuerzo cortante en un fluido entre placas paralelas  
Fuente: Geankoplis (2009)

### 2.2.5.1. Fluidos Newtonianos

Los fluidos que obedecen la ley de viscosidad de Newton, ecuaciones 1 y 2 se llaman fluidos newtonianos. En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante  $\tau_{yz}$  y el gradiente de velocidad  $\frac{dv_z}{dy}$  (velocidad cortante). Esto significa que la viscosidad  $\mu$ , es constante e independiente de la velocidad cortante. En fluidos no newtonianos, la relación entre  $\tau_{yz}$  y  $\frac{dv_z}{dy}$  no es lineal, es decir, la viscosidad  $\mu$ , no permanece constante sino que está en función de la velocidad cortante. Algunos líquidos no obedecen esta ley simple de Newton, como pastas, lechadas, altos polímeros y emulsiones. La ciencia del flujo y deformación de los fluidos se llama reología (Geankoplis, 2009).

### 2.2.5.2. Fluidos no Newtonianos

Según Geankoplis (2009) los fluidos no newtonianos son aquellos que no obedecen la ley de Newton, ecuación 3

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr} \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Donde  $\mu$ , la viscosidad, es una constante independiente de la velocidad cortante. En la figura N° 2 se muestra una gráfica del esfuerzo cortante  $\tau$  en función de la velocidad cortante  $-\frac{dv}{dr}$ . La gráfica de un fluido newtoniano es una recta con pendiente igual a  $\mu$ .

Cuando un fluido no obedece la ecuación 3, se trata de un fluido no newtoniano. En estas condiciones, una gráfica de  $\tau$  en función de  $-\frac{dv}{dr}$  no es lineal a través del origen. Los fluidos no newtonianos pueden dividirse

en dos categorías principales con base en su comportamiento de esfuerzo cortante/velocidad cortante: fluidos en los que el esfuerzo cortante es independiente del tiempo o duración de la acción cortante (independientes del tiempo), y aquellos en los que el esfuerzo cortante depende del tiempo o duración de la acción cortante (dependientes del tiempo). Además de su comportamiento anormal en relación con el esfuerzo cortante, algunos fluidos no newtonianos también tienen características elásticas (como el caucho) que están en función del tiempo y como resultado de las cuales se les llama fluidos viscoelásticos. Estos fluidos exhiben esfuerzos normales perpendiculares a la dirección del flujo, además de los esfuerzos tangenciales usuales (Geankoplis, 2009).

## 2.2.6. Tipos de fluidos

### 2.2.6.1. Fluidos independientes del tiempo

#### a) Fluidos plásticos de Bingham

Éstos son los más simples debido a que, tal como se muestra en la figura N° 2, sólo difieren de los newtonianos en cuanto a que la relación lineal no pasa por el origen.

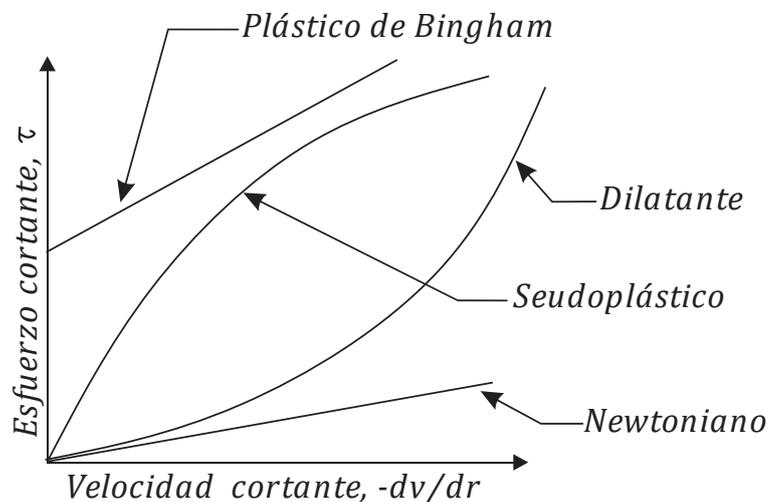


Figura N° 2: Esfuerzo cortante para fluidos newtonianos y no newtonianos  
Fuente: Geankoplis (2009)

Para iniciar el flujo se requiere un exceso de cierto valor del esfuerzo cortante  $\tau_c$  (llamado límite de fluidez) en  $N/m^2$ . Algunos fluidos tienen un límite (cortante)  $\tau_0$  finito, pero la gráfica de  $\tau$  contra  $-\frac{dv}{dr}$  se curva hacia arriba o hacia abajo. Sin embargo, esta desviación con

respecto a la plasticidad de Bingham suele ser pequeña. Entre los ejemplos de fluidos con un límite de fluidez están los lodos de perforación, las suspensiones de turba, la margarina, las mezclas de chocolate, las grasas, los jabones, las suspensiones de granos en agua, las pastas dentífricas, la pulpa de madera y los lodos de desecho (Geankoplis, 2009).

### **b) Fluidos seudoplásticos**

Geankoplis (2009) menciona que la mayoría de los fluidos no newtonianos pertenecen a esta categoría e incluyen las soluciones o fusiones de polímeros, las grasas, las suspensiones de almidón, la mayonesa, ciertos fluidos biológicos, las suspensiones de detergentes, los medios de dispersión de algunos productos farmacéuticos y las pinturas. En la figura N° 2 se muestra la forma de la curva de flujo, que por lo general puede representarse mediante una ecuación exponencial (que a veces se llama ecuación de Ostwald-de Waele):

$$\tau = k \left( -\frac{dv}{dr} \right)^n \quad (n < 1) \quad \text{Ecuación N° 4}$$

Donde K es el índice de consistencia en  $N * s^n / m^2$  y  $n$  es el índice de comportamiento de flujo, adimensional. La viscosidad aparente  $\mu_a$  en la ecuación 5 es obtenida de las ecuaciones 3 y 4 y disminuye al aumentar el esfuerzo cortante.

$$\mu_a = k \left( -\frac{dv}{dr} \right)^n \quad (n < 1) \quad \text{Ecuación N° 5}$$

### **c) Fluidos dilatantes**

Éstos son mucho menos comunes que los seudoplásticos y su comportamiento de flujo en la figura N° 2 muestra un aumento de la viscosidad aparente al elevar la velocidad cortante. Casi siempre se puede aplicar la expresión exponencial de la ecuación 4, pero con  $n > 1$ :

$$\tau = k \left( -\frac{dv}{dr} \right)^n \quad (n > 1) \quad \text{Ecuación N° 6}$$

Para un fluido newtoniano,  $n = 1$ . Algunas soluciones dilatantes son la harina de maíz y el azúcar en solución, arena de playa húmeda, almidón en agua, silicato de potasio en agua y varias soluciones que contengan concentraciones elevadas de polvos en agua (Geankoplis, 2009).

### **2.2.6.2. Fluidos dependientes del tiempo**

#### **a) Fluidos tixotrópicos**

Estos fluidos exhiben una disminución reversible del esfuerzo cortante con el tiempo cuando la velocidad cortante es constante. Este esfuerzo cortante tiende a un valor límite que depende de la velocidad cortante. Entre los principales ejemplos pueden incluirse algunas soluciones de polímeros, la manteca, algunos materiales alimenticios y las pinturas. La teoría de los fluidos dependientes del tiempo todavía es un poco confusa (Geankoplis, 2009).

#### **b) Fluidos reopécticos**

Son muy raros y exhiben un aumento reversible del esfuerzo cortante con el tiempo cuando la velocidad cortante es constante. Algunos ejemplos son las suspensiones de arcilla bentonítica, algunos soles y las suspensiones de yeso. En algunos procedimientos de diseño para fluidos tixotrópicos y reopécticos, cuando se trata de flujo estable en tuberías, se usan  $(S_2, W_3)$  los valores límite de las propiedades de flujo a velocidad cortante invariable (Geankoplis, 2009).

### **2.2.6.3. Fluidos viscoelásticos**

Los fluidos de esta naturaleza exhiben una recuperación elástica de las deformaciones que se presentan durante el flujo, es decir, muestran propiedades tanto viscosas como elásticas. Parte de la deformación se recupera al eliminar el esfuerzo. Entre los principales ejemplos están las masas de harina, el napalm (gelatina de petróleo), ciertos polímeros fundidos y los betunes (Geankoplis, 2009).

### **2.2.7. Reología**

Una de las maneras de evaluar la calidad de un producto alimentario, es a través de la caracterización reológica, la cual es correlacionada con la textura, los atributos sensoriales y los cambios micro estructural que tienen lugar en los productos alimenticios.

La reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de los materiales. Existen varias razones para justificar el estudio del comportamiento reológico de los alimentos, entre las cuales se encuentran: (1) la contribución al conocimiento de la estructura de los alimentos, (2) control de procesos y (3) ayuda al diseño de máquinas. En reología, los métodos para determinar las funciones viscoelásticas lineales

son estáticos y dinámicos, los cuales se caracterizan por ser de bajo esfuerzo o deformación (Cuello, Mendoza, y Suarez, 2014).

#### **2.2.7.1. Fuerza**

Una fuerza, “F”, se define en términos de su capacidad de producir una aceleración, pero también es un agente capaz de reformar un cuerpo. La fuerza no constituye, sin embargo, un criterio reológico útil. Si me siento sobre una silla no me pasará nada, pero no así lo hago sobre un alfiler; la fuerza o “carga” con que presiono hacia abajo es la misma, pero el área sobre la que la presión se aplica es distinta; es, pues, mucho más útil considerar la relación fuerza/área ( $F/A$ ), cociente al que se denomina “esfuerzo” o “tracción”. La unidad de fuerza es el newton (N) y la de área el metro cuadrado; de ahí que el esfuerzo mida en  $N/m^2$  (Ramirez, 2006).

#### **2.2.7.2. Fluido**

Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte (cizalla), por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación. La relación entre el esfuerzo de cizalla requerido para inducir una determinada velocidad de deformación en cizalla, caracteriza el comportamiento reológico de un fluido (Ramirez, 2006).

#### **2.2.7.3. Flujo y velocidad de deformación**

Consideremos ahora la deformación de los líquidos llamada “flujo”. Llenemos dos embudos idénticos, uno con jarabe y otro con agua. Al cabo de un rato, ambos estarán vacíos: para observar las diferencias reológicas precisamos de un reloj. En los experimentos de elasticidad solo se considera la magnitud de la deformación; en los de viscosidad se determina la magnitud de la deformación dividida por el tiempo que esta tarda en producirse; en otras palabras, la velocidad de deformación.

Al igual que en los sólidos, los líquidos obedecen a una ecuación de estado. La ecuación reológica de estado de los sólidos relaciona la deformación de la tensión; la de los líquidos establece la relación entre la tensión y la velocidad de deformación. A la constante de la ecuación de estado de los sólidos la llamamos “módulo de elasticidad”; la de los líquidos, “coeficiente de viscosidad” (Ramirez, 2006).

#### 2.2.7.4. Índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia

Según Lewis, (1993) el índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) es el valor de la pendiente de la recta, mientras que el índice de consistencia ( $k$ ) es la ordenada en el origen o valor de la fuerza de cizalla para un gradiente de cizalla de  $1\text{s}^{-1}$  es decir,  $\log (dv/dy) = 0$ . Los valores de  $k$  y  $n$  pueden emplearse en la determinación de la viscosidad aparente a cualquier fuerza de cizalla o construyendo un diagrama de fuerza de cizalla – gradiente de cizalla a partir de los valores de  $n$  y  $k$ .

$$\mu_a = k \left( \frac{dv}{dy} \right)^{n-1} \quad \text{Ecuación N° 7}$$

Donde:

$\mu_a$ = fuerza de cizalla

$k$ : índice de consistencia

$n$ : índice de comportamiento de flujo

Aquellos en los que  $n > 1$  se produce espesamiento y su viscosidad aparente es baja cuando las fuerzas de cizalla son bajas y va aumentando a medida que crece la fuerza de cizalla. Para fluidos newtonianos,  $n = 1$  ya que cumplen la ecuación de newton donde  $k = \mu$ . Cuando más alejado es el índice de comportamiento de flujo de la unidad, tanto mayor es la desviación del comportamiento newtoniano (Lewis, 1993).

#### 2.2.8. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente. También es considera simplemente como: el análisis de las propiedades sensoriales, se refiere a la medición y cuantificación de los productos alimenticios o materias primas evaluados por medio de los cinco sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín “*sensus*”, que significa sentido. Para obtener los resultados e interpretaciones, la evaluación sensorial se apoya en otras disciplinas como la química, las matemáticas, la

psicología y la fisiología entre otras (Hernandez, Evaluación sensorial, 2005).

Es la disciplina científica que trata sobre la caracterización de los atributos de la materia mediante los órganos sensoriales. Está constituida por dos procesos definidos según su función: el análisis sensorial y el análisis estadístico. Mediante el primero se obtienen las apreciaciones de los jueces a manera de datos que serán posteriormente transformados y valorados por el segundo, dándoles la objetividad deseada (Ureña, 2007, citado por (Escobar, 2015).

### **2.2.9. pH**

Según Negri, (2005) el pH (Ecuación 8) representa la acidez actual (concentración de H<sup>+</sup> libres).

$$pH = - \log aH^+ \qquad \text{Ecuación N° 8}$$

Donde H<sup>+</sup> es la actividad de hidrogeniones (H<sup>+</sup>).

### **2.2.10. Acidez**

Lo que habitualmente se denomina acidez involucra la acidez actual y la potencial. La acidez actual representa a los grupos H<sup>+</sup> libres, mientras que la acidez potencial incluye todos aquellos componentes que por medio de la titulación liberan grupos H<sup>+</sup> al medio. La acidez se mide por titulación y corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio utilizado para neutralizar los grupos ácidos (Negri, 2005).

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Yogurt**

Se define el yogurt como el producto de la leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de los microorganismos *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, a partir de la leche pasteurizada, nata pasteurizada, leche concentrada, leche parcial o totalmente desnatada y pasteurizada, con o sin adición de leche en polvo (Tamime y Robinson, 1991)

### **2.3.2. Yogurt batido**

Según Vera Balcázar , (2011) menciona que el yogurt batido es el producto en el que la incubación de la leche pasteurizada, se realiza en tanques de incubación produciéndose en ellos la coagulación, luego se bate y posteriormente se envasa. La agitación se realiza con la finalidad de romper y homogenizar el coagulo, para luego proceder a envasar

combinando o mezclando con agregados, como frutas, extractos o mermeladas (Navas y Arciniegas, 2008).

### 2.3.3. Variedad

Según la RAE, (2017) menciona que la variedad es cada uno de los grupos en que se dividen algunas especies de plantas y animales y que se distinguen entre sí por ciertos caracteres que se perpetúan por la herencia.

### 2.3.4. Quinua Blanca de Juli

La quinua blanca de Juli, es un grano andino; el cual, posee un aspecto opaco y de color blanco, en la tabla N° 7 se presenta las características y contenido nutricional de la quinua blanca de Juli.

Tabla N° 7: Características del grano de quinua variedad Blanca Juli

| Características del grano |              |
|---------------------------|--------------|
| Aspecto del grano         | Opaco        |
| Color del perigonio       | Verde        |
| Color del pericarpio      | Blanco Opaco |
| Color del episperma       | Blanco       |
| Color del perisperma      | Blanco       |
| Forma del borde del grano | Afilado      |
| Forma del grano           | Cilíndrico   |
| Diámetro del grano        | 1.60 mm      |

Fuente: Apaza, Cáceres, Estrada, y Pinedo, (2013)

El contenido nutricional de este grano se presenta en la tabla N° 8.

Tabla N° 8: Valor nutricional de la quinua variedad Blanca Juli

| Valor nutricional                             |                   |
|---|-------------------|
| Humedad                                       | 8.88 %            |
| Proteínas                                     | 16.15 %           |
| Fibra   | 2.10 %            |
| Cenizas                                       | 2.13 %            |
| Grasa   | 5.94 %            |
| ELN   | 64.80 %           |
| Energía                                       | 372.95 Kcal/100 g |
| Análisis físico/químico (g/100 g, de muestra) |                   |

Fuente: Apaza, Cáceres, Estrada, y Pinedo, (2013)

### **2.3.5. Tarwi**

El chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*) es una leguminosa de origen andino, sin embargo, no se conoce a ciencia cierta el origen de dicho cultivo. La semilla presenta varias formas: redonda u ovalada, lenticulares, de 5 – 15 mm de largo y 6 – 8 mm de ancho, de color variable, pueden ser blancas, marrones o negras, o también pueden tener combinaciones entre estos colores, y tienen un diámetro aproximado de 1 cm. El tegumento que cubre esta semilla es de consistencia dura y contienen alcaloides amargos que impiden su consumo (Navarrete, 2010). El tarwi fija nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de 100 kg/ha, restituyendo la fertilidad del suelo cultivada en el área andina desde épocas preincaicas. Se desarrolla en valles templados y áreas alto andinas. Para el desamargado del tarwi se desarrollan los siguientes procesos: Selección, clasificación y limpieza con zarandas; hidratación durante 12 horas; Cocción en cilindros con llave de salida u olla de presión; lavado en cilindros con una llave de salida para permitir el flujo de agua; secar al sol o mediante corrientes de aire caliente; almacenaje y empaclado (Jacobsen y Mujica, 2006).

### **2.3.6. Reología**

La reología, es decir, la ciencia del flujo y la deformación, estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y otros. Por lo tanto, el campo de la reología se extiende, es de la mecánica de fluidos newtonianos, por una parte, hasta la elasticidad de Hooke por otra. La región comprendida entre ellas corresponde a la deformación y flujo de todos los tipos de materiales pastosos y suspensiones (Ramirez, 2006).

### **2.3.7. Esfuerzo de corte**

La fuerza por unidad de área que se requiere para el movimiento de un fluido se define como  $F/A$  y se denota como tensión o esfuerzo de cizalla. Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad ( $dv/dy$ ) (Ramirez, 2006).

### **2.3.8. Viscosidad**

La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Dicho concepto se introdujo anteriormente en la Ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (gradiente de velocidad). Las fuerzas de atracción que

mantiene las moléculas a distancias ínfimas dando a los líquidos suficiente cohesión determinan que éstos al fluir a través de un tubo produzcan fricción. La resistencia que el líquido ofrece al flujo se denomina viscosidad. Los líquidos tienen coeficientes de viscosidad invariablemente más altos que los gases. Como quedó establecido, la viscosidad de los gases aumenta con la temperatura y es independiente de la presión. En cambio, la viscosidad de los líquidos disminuye a medida que aumenta la temperatura y decrece la presión (Ramírez, 2006)

### **2.3.9. Consistencia**

Se define la consistencia de los alimentos como conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto perceptible por los mecanorreceptores, los receptores táctiles y en ciertos casos, por los visuales y auditivos. Estos estudios demuestran que la intensidad del sabor va disminuyendo conforme aumenta la viscosidad de la disolución prueba, es decir, una disolución líquida tiene una mayor capacidad de estimular las células gustativas que una con mayor viscosidad (Cordero, 2013).

### **2.3.10. Extracto acuoso**

El extracto acuoso es el producto hidratado molido manteniendo una relación de producto:agua, es decir por cada masa de producto se utiliza una relación de agua. Al final del proceso se obtiene una fracción líquida denominada leche y otra residual sólida, denominada torta (Segovia, Villares, y Paredes, 2007).

### **2.3.11. Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente. También es considerada simplemente como: el análisis de las propiedades sensoriales, se refiere a la medición y cuantificación de los productos alimenticios o materias primas evaluados por medio de los cinco sentidos. Para obtener los resultados e interpretaciones, la evaluación sensorial se apoya en otras disciplinas como la química, las matemáticas, la

psicología y la fisiología entre otras (Hernandez, Evaluación sensorial, 2005).

#### **2.3.12. Color**

El color es una sensación subjetiva que se produce en el ojo humano como resultado de la estimulación de las tres clases de células sensibles en la retina humana (que presentan máximos de sensibilidad al azul, verde y rojo) y que responde a la distribución espectral de la luz recibida (Hernandez, 2005).

#### **2.3.13. Olor y sabor**

El olor y el sabor son propiedades fundamentalmente químicas que dependen de la composición del alimento y de la presencia de determinadas sustancias ácidas, salinas o volátiles. Olor y sabor son sensaciones complejas que se encuentran interrelacionadas. El sabor es una sensación más básica que se encuentra matizada por el olor. La sensación de sabor u olor depende de varios factores, entre los cuales, el más importante es la concentración en la que se encuentra el agente (Hernandez, 2005).

#### **2.3.14. Características fisicoquímicas**

##### **a) pH**

Mide la concentración de hidrogeniones libres que están dispuestos a enlazarse con moléculas que presentan carga negativa (Negri, 2005).

##### **b) Acidez**

Lo que habitualmente se denomina acidez involucra la acidez actual y la potencial. La acidez actual representa a los grupos  $H^+$  libres, mientras que la acidez potencial incluye todos aquellos componentes que por medio de la titulación liberan grupos  $H^+$  al medio. La acidez se mide por titulación y corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio utilizado para neutralizar los grupos ácidos (Negri, 2005).

## CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Lugar de ejecución

#### a) Localidad

El presente proyecto se desarrolló en el distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Departamento de Apurímac – Perú.

#### b) Institución

La prueba experimental se realizó en el laboratorio de Industrias lácteas, laboratorio de Física y laboratorio de Control de calidad y laboratorio de industrias lácteas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas, sede Santa Rosa – Talavera.

### 3.2. Población y muestras

#### a) Universo y/o población

La población de la investigación, corresponde a los 16 litros de yogurt elaborados a partir del extracto acuoso de quinua y tarwi.

#### b) Muestra

La muestra corresponde a 500 mL del yogurt elaborado de extracto acuoso de quinua y tarwi por cada tratamiento.

### 3.3. Materiales, instrumentos y equipos

#### a) Equipos

Tabla N° 9: Equipos

| Cantidad | Descripción  | Marca          |
|----------|--|----------------|
| 01       | Reómetro digital   | Rheolab QC     |
| 01       | pH-metro digital   | Inolab PH      |
| 01       | Termómetro con termocupla  | ----           |
| 01       | Balanza digital de precisión Cap. 100 g<br>Sensibilidad 0.01 g                     | Ohaus Traveler |
| 01       | Balanza digital de precisión de sensibilidad de<br>0.0001g                         | Sartorius      |
| 01       | Licadora   | Oster          |
| 01       | Refrigeradora  | Samsung        |
| 01       | Baño María   | S/M            |
| 01       | Cocina Eléctrica   | Surge          |
| 01       | Prototipo para fermentación de temperatura<br>controlada mediante tarjeta Arduino. | S/M            |

## b) Materiales

Tabla N° 10: Materiales de vidrio

| Cantidad | Descripción                                  | Marca        |
|----------|--|--------------|
| 18       | Tubos de ensayo con medida graduada de 10 mL | S/M          |
| 06       | Vasos precipitados de 50 mL                  | Isolab       |
| 09       | Vasos precipitados de 100 mL                 | Isolab       |
| 09       | Vasos precipitados de 250 mL                 | Isolab       |
| 03       | Vasos precipitados de 500 mL                 | Isolab       |
| 06       | Pipetas de 10 mL                             | Fortuna      |
| 01       | Picnómetro de 25 mL                          | Isolab       |
| 01       | Bureta graduada de 10 mL                     | Fortuna      |
| 03       | Probetas de 100 mL                           | Fortuna      |
| 03       | Probetas de 250 mL                           | Fortuna      |
| 03       | Probetas de 500 mL                           | Fortuna      |
| 06       | Placas Petri                                 | Schott Duran |
| 050      | Envases de vidrio de 500 mL                  | S/M          |

Tabla N° 11: Materia prima

| Cantidad | Material vegetal y biológico               | Descripción                           |
|----------|--|---------------------------------------|
| 10 kg    | Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) | Granos de la variedad Blanca de Juli. |
| 10 kg    | Tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> )   | Leguminosas de la variedad H6.        |
| 50 L     | Leche                                      | INIA                                  |

Tabla N° 12: Otros materiales

| Cantidad | Descripción                    | Marca         |
|----------|--------------------------------|---------------|
| 03       | Gradillas para tubos de ensayo | S/M           |
| 03       | Pro pipetas                    | D&N           |
| 01       | Gotero                         | S/M           |
| 01       | Pizeta                         | S/M           |
| 1.5 m    | Tela de tocuyo                 | S/M           |
| 01       | Jarra graduada de 1 L          | Basa          |
| 01       | Cuchara                        | Facusa        |
| 01       | Rotulador                      | Faber Castell |

### c) Reactivos e insumos

Tabla N° 13: Reactivos e insumos

| Cantidad | Reactivo e insumos                   |
|----------|--------------------------------------|
| 25 mL    | Solución alcohólica de fenolftaleína |
| 500 mL   | Solución de NaOH 0.1 N               |
| 1 L      | Alcohol de 95 °Gay Lussac            |
| 3 L      | Agua destilada                       |
| 2 kg     | Azúcar                               |
| 1 sachet | Cultivo                              |
| 5 L      | Agua a 60 °C                         |

### 3.4. Métodos de análisis

#### 3.4.1. Sedimentación de los extractos acuosos

Para la sedimentación de los extractos acuosos de quinua y tarwi se utilizaron la metodología descrita por Jimenez y Martinez (2016):

En la sedimentación se trata de que el almidón que es más denso que el agua llegue al fondo del recipiente o sedimentador. Entonces, el agua que salió del filtrado del afrecho, se deja sedimentar en un sedimentador o tubo de ensayo con escalas que permita medir el volumen por un periodo de tiempo de 14 horas, luego el sobrenadante se elimina quedándose con la parte sedimentada.

#### 3.4.2. Determinación de la densidad

Para la determinación de la densidad se utilizó la metodología descrita por Atarés, (2010), lo cual se describe a continuación.

Para determinar la densidad de un líquido con el método del picnómetro, solamente se necesitó la masa del mismo en tres situaciones diferentes. Todas las masas se determinaron en balanza analítica y con la tapa.

➤ **Primero:**

Se pesó el picnómetro vacío y se anotó su masa ( $m_p$ )

➤ **Segundo:**

Se enrasó el picnómetro con agua (fluido de referencia) y anotó su masa ( $m_{p+w}$ ). Enrasar el picnómetro significa llenarlo completamente, evitando la formación de burbujas en su interior. Al cerrarlo, el nivel de agua subió por el capilar y ésta reboso, quedando el capilar también lleno de agua. Una vez el agua reboso, Se secó el picnómetro por fuera antes de pesarlo.

➤ **Tercero:**

Se enrasó el picnómetro con la disolución (extracto acuoso) y se anotó su masa ( $m_{p+d}$ ). Se siguió el mismo procedimiento y se tuvo las mismas precauciones que al enrasar el picnómetro con agua.

➤ **Cálculos**

La densidad  $\rho_d$  es el cociente entre la masa de disolución que hay alojada en el interior del picnómetro y el volumen de éste.

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_p} \quad \text{Ecuación N° 9}$$

El valor del numerador de este cociente fue fácil de hallar, puesto que la masa de disolución en el interior del picnómetro será la resta de dos masas ya determinadas: la del picnómetro lleno de disolución y la del picnómetro vacío ( $m_{p+w}-m_p$ ). Por lo tanto, la ecuación quedó así:

$$\rho_d = \frac{m_{p+w}-m_p}{V_p} \quad \text{Ecuación N° 10}$$

Llegado a este punto, para poder calcular la densidad de la disolución ( $\rho_d$ ) se halló el volumen del picnómetro ( $V_p$ ). Con este fin se ha realizado la determinación de  $m_{p+w}$  (masa del picnómetro enrasado con agua, que es el fluido de referencia).

Cuando el picnómetro está lleno de agua (fluido de referencia) se cumple que:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} = \frac{m_w}{V_p} \quad \text{Ecuación N° 11}$$

Donde se ha asumido que el volumen de agua  $V_w$  es igual al volumen del picnómetro  $V_p$ , puesto que cuando el picnómetro está enrasado con agua, el volumen que ésta estuvo ocupando es precisamente el volumen del picnómetro.

A partir de esta expresión se puede determinar volumen del picnómetro ( $V_p$ ):

$$V_p = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{m_{p+w}-m_p}{\rho_w} \quad \text{Ecuación N° 12}$$

Puesto que ya se tuvo una expresión para el volumen del picnómetro, finalmente se sustituyó ésta en la ecuación de  $\rho_d$ , para

obtener la ecuación que nos permitió calcular la densidad de nuestra disolución:

$$\rho_d = \frac{m_{p+d}-m_p}{m_{p+w}-m_p} * \rho_w \quad \text{Ecuación N° 13}$$

Para lo cual, se sustituyó el dato de densidad del agua. Donde se tomó el valor de la  $\rho_d$  a la misma temperatura a la que se realizó la determinación.

### 3.4.3. Evaluación sensorial

Para el análisis de la evaluación sensorial y para poder determinar el mejor tratamiento se realizó mediante el método de ranking de factores descrita por Díaz, Jarufe y Noriega (2007), donde menciona que es una técnica que emplea un sistema de evaluación tomando en consideración los factores. De estos factores, deben relacionarse aquéllos cuya aplicación es pertinente en el caso específico. Entonces, a cada factor se le debe de adicionar una ponderación de acuerdo a la importancia que presente en el producto final. Una vez asignada la ponderación, se le multiplica por el valor de los factores en estudio y se suma los valores obtenidos.

Para el caso de la evaluación sensorial, se le dio un valor ponderado a cada característica organoléptica de acuerdo a su importancia, luego se eligió como mejor tratamiento el que presentó mayor valor frente a los demás tratamientos. La evaluación sensorial se realizó siguiendo los procedimientos descritos en el anexo N° 21.

### 3.4.4. Análisis de “n” y “k”, metodología Mitschka

El análisis de índice de consistencia “n” y el índice de comportamiento de flujo “k” se desarrolló con la metodología Mitschka citado por Martínez, (2002).

El método de conversión Mitschka, permite obtener las funciones de viscosidad: esfuerzo de corte versus la relación de deformación, con una precisión suficiente para las aplicaciones de ingeniería utilizando viscosímetros como el Brookfield RVT, Fungilab o equivalentes.

Descripción de la metodología Mitschka, para la obtención de las funciones de viscosidad.

**Primero:** Tomar la máxima cantidad de pares de valores posibles de la desviación de escala en el dial de torque ( $\alpha_i$ ) en unidades de cero a cien,

con uno o varios husillos, para valores fijos de velocidad rotacional  $N_i$  (en rpm).

**Segundo:** Convertir los valores de  $\alpha_i$  en esfuerzos de corte (promedio),  $\sigma_i$  (en Pa) para cada uno de los husillos empleados a través de:

$$\sigma_i = KAT * \alpha_i \quad \text{Ecuación N° 14}$$

Donde, **KAT** es una constante que se obtiene del tabla N° 14 y que depende de la geometría y tamaño del husillo empleado, es decir del número del husillo.

**Tercero:** Los pares  $\sigma_i - N_i$  válidos para cada husillo en particular son graficados en coordenadas logarítmicas

**Cuarto:** Cuando esta dependencia es suficientemente cercana a la lineal, el fluido en estudio es del tipo ley de potencia. La pendiente de la relación  $\log \sigma_i - \log N_i$  en este caso es simplemente igual al índice de comportamiento de flujo del fluido,  $n$ . Usando los valores de **KNY(n)** para este índice de comportamiento de flujo y el husillo en particular ayudándose con el cuadro de Factores de conversión para los husillos del viscosímetro Fungilab (bajo condiciones estándares de medida), los correspondientes valores (promedio) de la relación de deformación  $\dot{\gamma}_i$  son calculados por:

$$\dot{\gamma}_i = KNY(n) * N_i \quad \text{Ecuación N° 15}$$

Tabla N° 14: Factores de conversión para husillos

| Número de husillo | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| KAT               | 0.035 | 0.119 | 0.279 | 0.539 | 1.05  | 2.35  | 8.4   |
| FC(N-1)           | 100   | 400   | 1000  | 2000  | 4000  | 10000 | 40000 |
|                   |       |       |       |       |       | 0     | 0     |
|                   | n =   |       |       |       |       |       |       |
|                   | 0.1   | 1.728 | 1.431 | 1.457 | 1.492 | 1.544 | 1.366 |
|                   | 0.2   | 0.967 | 0.875 | 0.882 | 0.892 | 0.907 | 0.851 |
|                   | 0.3   | 0.705 | 0.656 | 0.656 | 0.658 | 0.663 | 0.629 |
|                   | 0.4   | 0.576 | 0.535 | 0.53  | 0.529 | 0.528 | 0.503 |
| KNY               | 0.5   | 0.499 | 0.458 | 0.449 | 0.445 | 0.442 | 0.421 |
|                   | 0.6   | 0.449 | 0.404 | 0.392 | 0.387 | 0.382 | 0.363 |
|                   | 0.7   | 0.414 | 0.365 | 0.35  | 0.343 | 0.338 | 0.32  |
|                   | 0.8   | 0.387 | 0.334 | 0.317 | 0.31  | 0.304 | 0.286 |
|                   | 0.9   | 0.367 | 0.31  | 0.291 | 0.283 | 0.276 | 0.26  |
|                   | 1     | 0.351 | 0.291 | 0.27  | 0.262 | 0.254 | 0.238 |

Fuente: Jordan (2011)

**Quinto:** Los pares relevantes  $\sigma_i - \dot{\gamma}_i$  son ahora asumidos como los puntos de la función viscosidad de la muestra fluida analizada. Por procedimiento de regresión se obtiene el coeficiente de consistencia y el índice de comportamiento reológico.

#### 3.4.5. Determinación del pH

Para la medición del pH se usó el potenciómetro Inolab PH y se realizó siguiendo los pasos descritos por Negri, (2005):

**Primero:** Se calibro el potenciómetro con soluciones buffer a pH = 4,0 y pH = 7,0. El valor se obtuvo introduciendo directamente el electrodo dentro de la muestra.

**Segundo:** Después de calibrar el potenciómetro, se limpió con agua destilada el electrodo.

**Tercero:** El electrodo del potenciómetro se introdujo en el yogurt, y se procedió a registrar el pH.

#### 3.4.6. Determinación de la acidez titulable

Se determinó de acuerdo al método 16.023 (A.O.A.C., 1984). Basado en una titulación con NaOH 0,1 N. Se pesa aproximadamente 10 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, posteriormente se añadió agua destilada 10 mL y se agitó, se incorporaron tres a cinco gotas de fenolftaleína al 1 % y se tituló con NaOH 0,1 N, Se obtuvo una coloración rosada ligera. La acidez se expresó como porcentaje de ácido láctico, teniendo la siguiente relación: (1mL de NaOH 0,1N = 0,009 g de ácido láctico).

$$\%acidez = \frac{(ml\ de\ NaOH) * (Normalidad\ de\ NaOH) * 9}{Peso\ de\ la\ muestra\ g} * 100 \quad \text{Ecuación N° 16}$$

### 3.5. Metodología Experimental

#### 3.5.1. Materia prima

- La quinua de la variedad Blanca de Juli, se adquirió de los productores de Juli – Puno.
- El Tarwi de la variedad H6, se Adquirió de los Productores de la localidad de Andahuaylas.
- La Leche, se obtuvo de la localidad de Chumbibamba – Talavera.

#### 3.5.2. Obtención del extracto acuoso de quinua

Para la extracción del extracto acuso de quinua se utilizó la siguiente metodología experimental que se muestra en la figura N° 3.

Metodología experimental de la obtención del extracto acuoso de quinua.

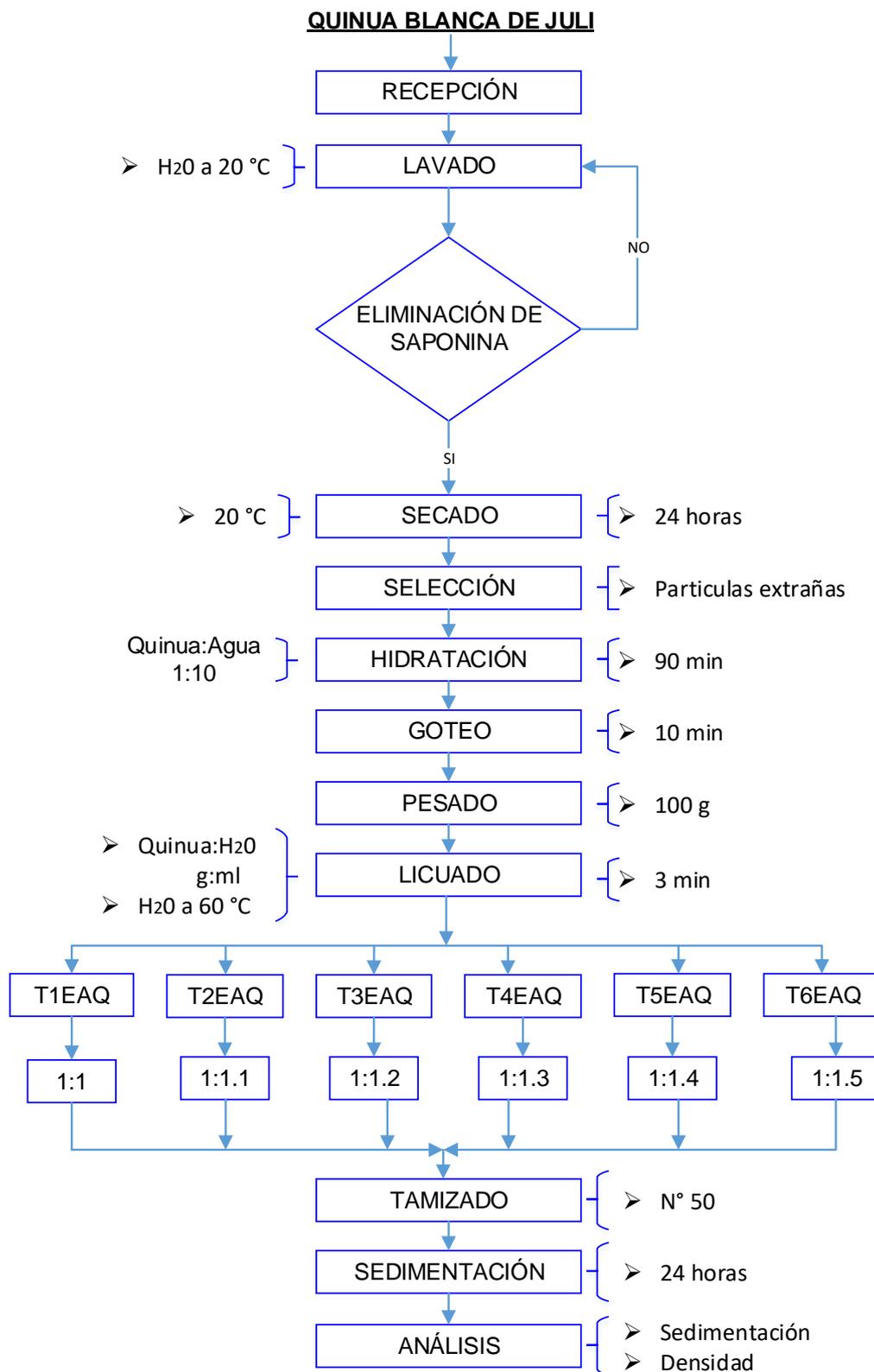


Figura N° 3: Diagrama de flujo para obtención del extracto acuoso de quinua

- **Quinua:** Para la obtención del extracto acuoso de quinua se ha utilizado como materia prima la quinua de variedad blanca de Juli.
- **Recepción:** La materia prima se recibió en bolsas de 1 kg cada una. Luego se realizó el pesado de la quinua para la extracción del extracto acuoso y el tamizado. El número de tamiz que se utilizó fue el número 14. Los granos de este número de tamiz fueron los que se utilizaron para la extracción del extracto acuoso.
- **Eliminación de la saponina:** La quinua tamizada pasó por un proceso de lavado para la eliminación de la saponina.
- **Secado:** La quinua libre de saponina se hizo secar a una temperatura de 20 °C durante un tiempo de 24 horas.
- **Selección:** Se retiró los granos de quinua que presentaron daños físicos, además, de elementos extraños.
- **Hidratación:** Los granos de quinua se hidrataron por un tiempo de 90 minutos.
- **Goteo:** Los granos de quinua hidratada se retiró del agua y se puso en un tamiz para que el exceso de agua pueda gotear por un tiempo de 10 minutos.
- **Pesado:** Los granos de quinua libre de exceso de agua, se pesaron 100 g para cada relación de producto:agua.
- **Licuada:** se utilizó los siguientes tratamientos de relación de producto: agua. 1:1 (T1EAQ), 1:1.1 (T2EAQ), 1:1.2 (T3EAQ), 1:1.3 (T4EAQ), 1:1.4 (T5EAQ), 1:1.5 (T6EAQ).
- **Tamizado:** Los granos de quinua licuados con su respectiva relación de producto: agua se tamizaron para obtener el extracto acuoso.
- **Sedimentación:** Cada tratamiento de extracto acuoso se puso en tubos de ensayo graduados de 10 mL por triplicado y se dejó sedimentar por un periodo de 24 horas.
- **Análisis:** A la parte sedimentada se evaluó el porcentaje de sedimentación y además de la densidad mediante el DCA.

### 3.5.3. Obtención del extracto acuoso de tarwi

Para la extracción del extracto acuoso de tarwi se utilizó el siguiente diagrama de flujo mostrado en la Figura N° 4.

Descripción de los procesos de obtención del extracto acuoso del tarwi.

- **Tarwi desamargado:** Para la obtención del extracto acuoso se utilizó como materia prima la quinua de variedad H6.

Diseño experimental para la obtención del extracto acuoso de tarwi.

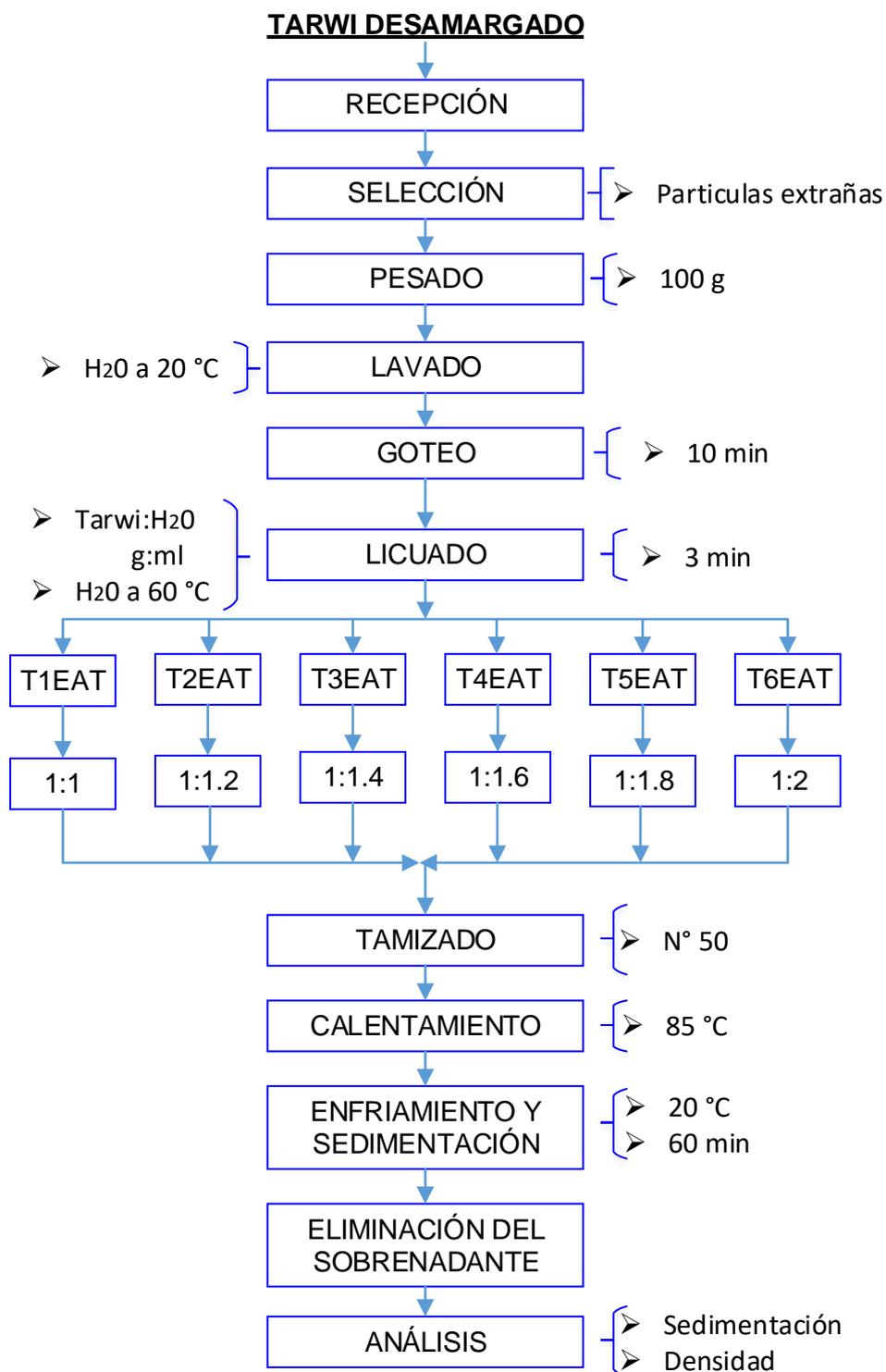


Figura N° 4: Diagrama de flujo para obtención del extracto acuoso de tarwi

- **Recepción:** La materia prima se recibió en bolsas de 1 kg cada uno.
- **Selección:** Se retiró los granos de tarwi que presentaron daños físicos, además, de elementos extraños.
- **Pesado:** Se realizó el pesado del tarwi de 100 g para cada tratamiento de extracto acuoso a obtener.
- **Lavado:** El tarwi pesado se sumergió al agua para su proceso de lavado.
- **Goteo:** El tarwi una vez lavada se procedió a retirar el exceso de agua mediante el goteo por un periodo de tiempo de 10 minutos.
- **Licuada:** se utilizó los siguientes tratamientos de relación de producto: agua. 1:1 (T1EAT), 1:1.2 (T2EAT), 1:1.4 (T3EAT), 1:1.6 (T4EAT), 1:1.8 (T5EAT), 1:2 (T6EAT).
- **Tamizado:** El tarwi licuado con sus respectivas relaciones de producto:agua se tamizaron para obtener el extracto acuoso.
- **Calentamiento:** EL tarwi tamizado se llevó a calentamiento a una temperatura de 85 °C por un tiempo de 5 minutos.
- **Enfriamiento y Sedimentación:** Cada tratamiento de extracto acuoso se puso en tubos de ensayo graduados de 10 mL por triplicado y se dejó enfriar y sedimentar por un periodo de 60 minutos.
- **Eliminación del sobrenadante.** Una vez pasado el tiempo de 60 minutos, se retiró el sobrenadante.
- **Análisis:** A la parte sedimentada se evaluó el porcentaje de sedimentación y además de la densidad mediante el DCA.

#### 3.5.4. Yogurt batido con sustitución parcial de quinua y tarwi

Por último, se procedió a la elaboración del yogurt con dos diferentes niveles utilizando el que presenta condiciones similares a la leche respecto a la densidad.

La elaboración del yogurt se realizó mediante procesos propuestos por Tamime y Robinson, (1991) y utilizando la figura N° 5.

##### ➤ **Materia prima:**

Para este estudio se utilizó como materia prima la leche, el tarwi y la quinua los cuales se realizó los procesos previos descritos

- **Obtención de extracto acuoso:**

Para la obtención del extracto acuoso se utilizó los diagramas de flujo de extracto acuoso de quinua y tarwi. Además, después de haber realizado los procesos mencionados, se ha tenido los extractos acuosos que presente mejores características físicas como es la densidad, y sedimentación.
- **Mezclado:**

En el proceso de mezclado, se buscó que el extracto acuoso de tarwi y la quinua puedan ser homogéneos con la mezcla de la leche de vaca.
- **Pasteurización:**

Se realizó una pasteurización a 90 °C por 15 segundos según la metodología propuesta por Tamime y Robinson, (1991)
- **Enfriado:**

La mezcla pasteurizada se dejó enfriar hasta una temperatura de 45 °C, esto con la finalidad de adicionar el cultivo iniciador de la fermentación.
- **Adición de azúcar:**

En el proceso de enfriado se adicionó el azúcar, al mismo tiempo realizando la mezcla del producto.
- **Inoculación:**

Se inocularon bacterias iniciadoras de la fermentación.
- **Incubación:**

La leche con la mezcla de extractos acuosos e insumos se llevó a incubación a una temperatura de 45 °C por 3.5 horas.
- **Enfriado:**

Después de la incubación el producto se llevó a un enfriado hasta 4 °C para su posterior envasado y refrigeración.
- **Obtención del yogurt:**

Finalmente se obtuvo el yogurt batido con sustitución parcial de la leche por quinua y tarwi.
- **Análisis del yogurt:**

El yogurt obtenido se evaluó las características sensoriales para elegir el mejor tratamiento y posteriormente al seleccionado hacer el estudio de las características reológicas y fisicoquímicas.

## Metodología experimental para para la obtención de yogurt batido

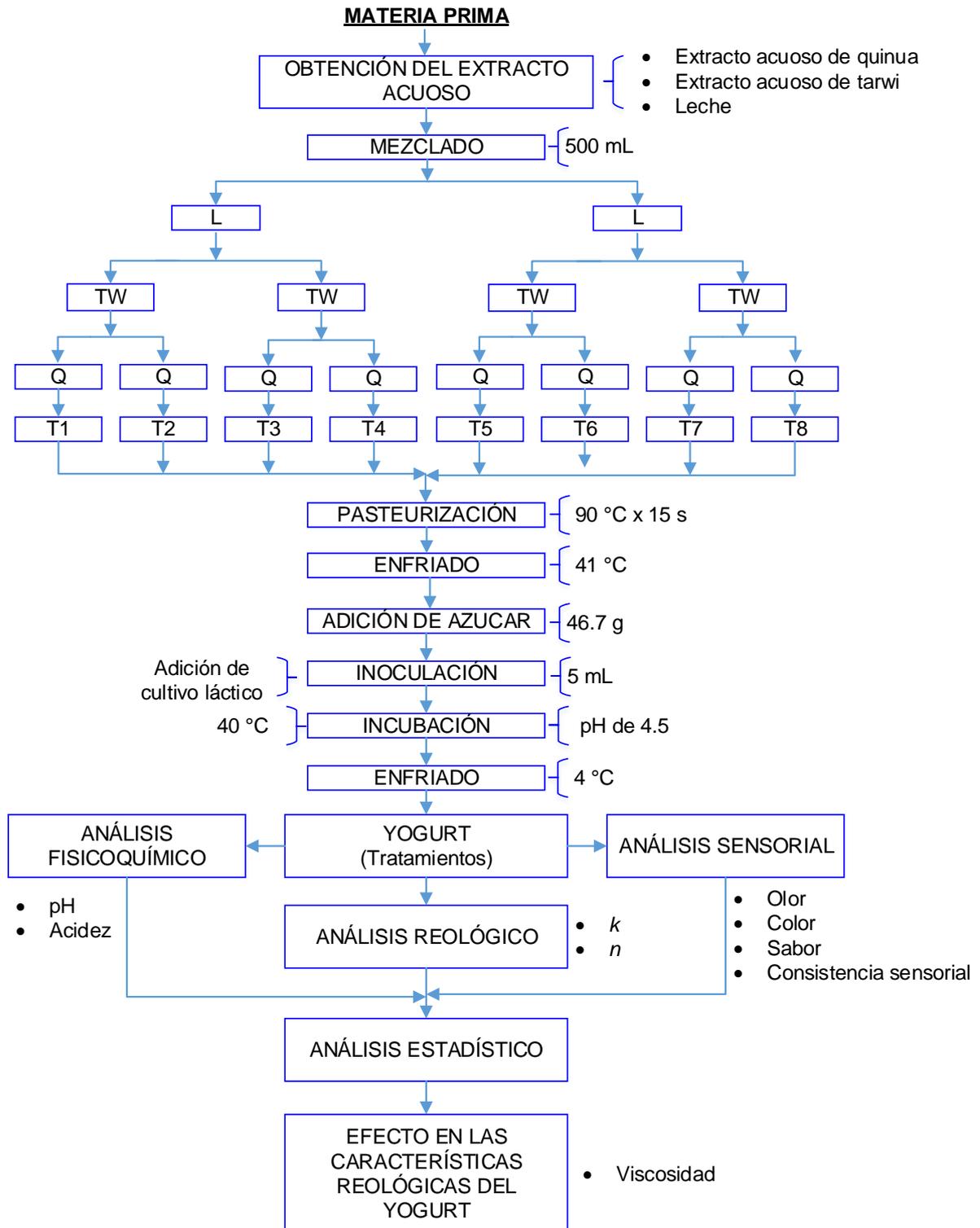


Figura N° 5: Diagrama de flujo para el yogurt batido

Donde:

L: leche, TW: tarwi, Q: quinua y T: tratamiento

### 3.5.5. Evaluación sensorial

La aceptación del producto se evaluó basándose en las características sensoriales como; Color, olor, sabor y consistencia con muestras codificadas, entregadas al azar, utilizando una escala hedónica de 5 puntos tales como se muestra en las tablas N° 15, 16, 17 y 18.

Tabla N° 15: Escala hedónica para el color

| Color                            |         |
|----------------------------------|---------|
| Escala hedónica                  | Puntaje |
| Muy Agradable                    | 1       |
| Agradable                        | 2       |
| No es agradable, ni desagradable | 3       |
| Desagradable                     | 4       |
| Muy desagradable                 | 5       |

Tabla N° 16: Escala hedónica para el olor

| Olor   |         |
|--|---------|
| Escala hedónica                                  | Puntaje |
| Intenso a quinua                                 | 1       |
| Se siente ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2       |
| No siente a quinua y a tarwi                     | 3       |
| Se siente ligeramente el tarwi y menos la quinua | 4       |
| Intenso tarwi                                    | 5       |

Tabla N° 17: Escala hedónica para el sabor

| Sabor                                       |         |
|---|---------|
| Escala hedónica                             | Puntaje |
| Sabe a quinua                               | 1       |
| Sabe ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2       |
| Sabe a quinua y a tarwi                     | 3       |
| Sabe ligeramente el tarwi menos la quinua   | 4       |
| Sabe a tarwi                                | 5       |

Tabla N° 18: Escala hedónica para el consistencia

| Consistencia       |         |
|--------------------|---------|
| Escala hedónica    | Puntaje |
| Muy espeso         | 1       |
| Espeso             | 2       |
| Ligeramente espeso | 3       |
| Aguado             | 4       |
| Muy aguado         | 5       |

### 3.5.6. Determinación de la viscosidad de la mezcla

Para determinar la viscosidad de la mezcla del extracto acuoso de quinua, tarwi y la leche, se ha utilizado el viscosímetro Fungilab con el husillo R7.

- La cantidad de muestra utilizada fue de 500 mL, además, las velocidades de giro fueron de 50 y 100 rpm.
- El tiempo de medida fue de 60 segundos.

### 3.5.7. Determinación de la acidez y pH del yogurt batido

#### a) Acidez

Para determinación de la acidez se siguió los siguientes pasos.

- Se pesó 10 g de yogurt y se le adiciono 10 mL de agua destilada.
- Se agregó 5 gotas de fenolftaleína al 1 % y seguidamente se le agito hasta encontrar una mezcla homogénea.
- Luego, de dejo caer cuidadosamente NaOH al 0.1 N hasta que la muestra vire a un color rosado ligero. Una vez obtenida ese color, se registró el volumen en mL de NaOH que fueron necesarios para que el yogurt vire de color.

#### b) pH

Para realizar esta medición se usó el potenciómetro digital marca Inolab pH, el cual fue calibrado previamente con buffer a pH = 4,0 y pH = 7,0. El valor se obtuvo introduciendo directamente el electrodo dentro de la muestra.

### 3.5.8. Determinación de “ $n$ ” y “ $k$ ”

Para la determinación de los valores de  $n$  y  $k$  se realizaron los siguientes pasos.

**Primero:** Se tomó la máxima cantidad de pares de valores posibles de la desviación de escala en el dial de torque ( $\alpha_i$ ) en unidades de cero a cien, en Sistema Internacional (SI) con unidades  $\text{Kg m}^2 / \text{s}^2$ , con uno o varios husillos, para valores fijos de velocidad rotacional  $N_i$  (en rpm).

**Segundo:** Se convirtió los valores de  $\alpha_i$  en esfuerzos de corte (promedio),  $\sigma_i$  (en Pa) para cada uno de los husillos empleados a través de la ecuación N° 14.

**Tercero:** Los pares  $\sigma_i - N_i$  válidos para cada husillo en particular fueron graficados en coordenadas logarítmicas.

**Cuarto:** Cuando esta dependencia es suficientemente cercana a la lineal, el fluido en estudio es del tipo ley de potencia. La pendiente de la relación  $\log \sigma_i - \log N_i$  en este caso es simplemente igual al índice de comportamiento de flujo del fluido,  $n$ . Usando los valores de  $KNY(n)$  para este índice de comportamiento de flujo y el husillo en particular ayudándose con el cuadro de Factores de conversión para los husillos del viscosímetro Fungilab (bajo condiciones estándares de medida) que se muestra en la tabla N° 14, los correspondientes valores (promedio) de la relación de deformación  $\dot{\gamma}_i$  son calculados por la ecuación N° 15.

**Quinto:** Los pares relevantes  $\sigma_i - \dot{\gamma}_i$  son ahora fueron asumidos como los puntos de la función viscosidad de la muestra fluida analizada. Por procedimiento de regresión se obtiene el coeficiente de consistencia y el índice de comportamiento reológico.

### 3.6. Diseño experimental

Para realizar el estudio estadístico se utilizó el software StatGraphics centurión XVI.II.

#### a) Diseño completamente al azar (DCA)

Este diseño se llama completamente al azar porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. De esta manera, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, éstas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos (Gutiérrez, 2008).

Para poder aplicar el DCA en el extracto acuoso de quinua y tarwi, fue necesario establecer los tratamientos por triplicado, en los cuales se considera una razón de proporción de producto:agua (cantidad de producto en gramos y cantidad de agua en mL). Los cuales se muestran en la tabla N° 19 y 20 para el extracto acuoso de quinua y extracto acuoso de tarwi respectivamente.

Tabla N° 19: DCA para el extracto acuoso de quinua

| Tratamientos |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1EAQ        | T2EAQ | T3EAQ | T4EAQ | T5EAQ | T6EAQ |
| 1:1          | 1:1.1 | 1:1.2 | 1:1.3 | 1:1.4 | 1:1.5 |
| 1:1          | 1:1.1 | 1:1.2 | 1:1.3 | 1:1.4 | 1:1.5 |
| 1:1          | 1:1.1 | 1:1.2 | 1:1.3 | 1:1.4 | 1:1.5 |

Tabla N° 20: DCA para el extracto acuoso de tarwi

| Tratamientos |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1EAT        | T2EAT | T3EAT | T4EAT | T5EAT | T6EAT |
| 1:1          | 1:1.2 | 1:1.4 | 1:1.6 | 1:1.8 | 1:2   |
| 1:1          | 1:1.2 | 1:1.4 | 1:1.6 | 1:1.8 | 1:2   |
| 1:1          | 1:1.2 | 1:1.4 | 1:1.6 | 1:1.8 | 1:2   |

Por otro lado, para obtener la mezcla adecuada mediante el diseño estadístico DCA, fue necesario establecer los niveles de sustitución de extracto acuoso de quinua y extracto acuoso de tarwi en porcentajes y para completar al 100 % adicionando leche. Seguidamente para fines de análisis estadístico se realizó su estudio de la viscosidad a 50 y 100 rpm. De esta manera se ha obtenido los tratamientos con sus respectivos niveles de sustitución como se muestra en la tabla N° 21 y 22 y para un análisis de viscosidad de 50 y 100 rpm respectivamente.

Tabla N° 21: DCA para la mezcla de los extractos acuosos a 50 rpm

| Tratamiento  |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1MEV        | T2MEV        | T3MEV        | T4MEV        |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |

Tabla N° 22: DCA para la mezcla de los extractos acuosos a 100 rpm

| Tratamiento  |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1MAV        | T2MAV        | T3MAV        | T4MAV        |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |
| 10% Q y 4% T | 20% Q y 5% T | 30% Q y 6% T | 40% Q y 7% T |

#### b) ANOVA para el DCA

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso del DCA se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina “claramente” sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, o, dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan contribuyen igual o menos que el error, por lo que se concluye que las medias son iguales (Gutiérrez, 2008).

Según Gutiérrez, (2008) el objetivo del análisis de varianza en el DCA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu \quad \text{Ecuación N° 17}$$

$$H_A = \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad \text{Ecuación N° 18}$$

La cual se puede escribir en forma equivalente como:

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0 \quad \text{Ecuación N° 19}$$

$$H_A = \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i \neq j \quad \text{Ecuación N° 20}$$

Donde  $\tau_i$  es el efecto del tratamiento  $i$  sobre la variable de respuesta. Si se acepta  $H_0$  se confirma que los efectos sobre la respuesta de los  $k$  tratamientos son estadísticamente nulos (iguales a cero), y en caso de rechazar se estaría concluyendo que al menos un efecto es diferente de cero.

Toda la información necesaria para calcular el estadístico  $F_0$  hasta llegar al valor-p se escribe en la llamada tabla de análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la tabla N° 23. En esta tabla, las abreviaturas significan lo siguiente:  $FV$  = fuente de variabilidad (efecto),  $SC$  = suma de cuadrados,  $GL$  = grados de libertad,  $CM$  = cuadrado medio,  $F_0$  = estadístico de prueba, valor-p = significancia observada.

Debemos señalar que el caso particular de comparar dos tratamientos suponiendo varianzas desconocidas pero iguales (prueba  $T$  de Student) también se puede analizar con el ANOVA y se obtiene el mismo valor del valor-p que con la prueba  $T$ .

Es fácil comprobar que el estadístico  $T_0$  de la prueba  $T$  elevado al cuadrado es igual al estadístico  $F_0$  de la prueba  $F$  del ANOVA. Por último, es importante resaltar que el ANOVA supone que la variable de respuesta se distribuye normal, con varianza constante (los tratamientos tienen varianza similar) y que las mediciones son independientes entre sí. Estos supuestos deben verificarse para estar más seguros de las conclusiones obtenidas (Gutiérrez, 2008).

Tabla N° 23: Tabla ANOVA para el DCA

| <i>FV</i>    | <i>SC</i>   | <i>GL</i> | <i>CM</i>                             | $F_0$                    | Valor-p      |
|--------------|---|-----------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Tratamientos | $SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} = \frac{Y_{..}^2}{N}$ | $k - 1$   | $CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$ | $\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$ | $P(F > F_0)$ |
| Error        | $SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$   | $N - k$   |                                       |                          |              |
| Total        | $SC_E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$  | $N - 1$   |                                       |                          |              |

Fuente: Gutiérrez, (2008)

### c) Tukey HSD

Según Gutiérrez, (2008): Un método más conservador para comparar pares de medias de tratamientos es el método de Tukey, el cual consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{CM_E/n_i} \quad \text{Ecuación N° 21}$$

donde  $CM_E$  es el cuadrado medio del error,  $n$  es el número de observaciones por tratamiento,  $k$  es el número de tratamientos,  $N - k$  es igual a los grados de libertad para el error,  $\alpha$  es el nivel de significancia prefijado y el estadístico  $q_\alpha(k, N - k)$  son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado, que se obtienen de la correspondiente tabla en el apéndice. Se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia muestral en valor absoluto sea mayor que  $T_\alpha$ . A diferencia de los métodos LSD y Duncan, el método de Tukey trabaja con un error  $\alpha$  muy cercano al declarado por el experimentador.

### d) Prueba de hipótesis para Tukey

Para determinar la diferencia estadística entre los tratamientos, se ha considerado los criterios de hipótesis estadísticas descritos por Gutiérrez (2008).

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| < T_\alpha$ : Hipotesis nula: No hay diferencia significativa en todos los tratamientos.

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > T_\alpha$ : Hipótesis alterna: Hay diferencia significativa en algunos o todos los tratamientos

Donde  $T_\alpha$ , es el estadístico Tukey:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha} \cdot (K, N - K) \sqrt{\frac{CM_E}{N_i}} \quad \text{Ecuación N° 22}$$

Dónde:

$q_{\alpha} \cdot (K, N - K)$ : valor normalizado de la distribución Tukey

$CM_E$ : cuadrado medio de error, obtenido de la tabla ANOVA

$N_i$ : número de datos

El número de comparación entre tratamientos se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Número de comparaciones} = \frac{T(T-1)}{T} \quad \text{Ecuación N° 23}$$

### e) Análisis de covarianza (ANCOVA)

En la presente investigación se utilizó un análisis de covarianza de 2x2x2x10, con tres replicas.

En la tabla N° 24 se muestran las condiciones de cada variable independiente con sus respectivos rangos de estudio, la combinación de los mismos generó los tratamientos finales a experimentar. Además, se muestra los efectos principales que fueron la quinua y tarwi, y como efectos de covarianza la leche y la velocidad del usillo del viscosímetro Fungilab del 10 rpm a 100 rpm, obteniéndose 10 niveles para la velocidad de giro.

Tabla N° 24: Niveles de las variables independientes

| Variables independientes  | Unidad | Niveles |     |
|---------------------------|--------|---------|-----|
|                           |        | -1      | 1   |
| Extracto acuoso de quinua | mL     | 10      | 20  |
| Extracto acuoso de tarwi  | mL     | 4       | 5   |
| Leche de vaca             | mL     | 76      | 85  |
| Velocidad del usillo      | rpm    | 10      | 100 |

Por otro lado, para obtener el análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la siguiente página en tabla N° 25 se utilizó la suma de cuadrados de tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se midió eliminando los efectos de los demás factores ubicado como covariables.

Tabla N° 25: ANOVA del análisis de covarianza

| Fuente de variabilidad | Suma de cuadrados | Grados de libertad     | Cuadrado medio | $F_0$          | Valor-p      |
|------------------------|-------------------|------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Covariables            |                   |                        |                |                |              |
| C                      | $SC_C$            | 1                      | $CM_C$         | $CM_C/CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| D                      | $SC_D$            | 1                      | $CM_D$         | $CM_D/CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| Efectos principales    |                   |                        |                |                |              |
| A                      | $SC_A$            | 1                      | $CM_A$         | $CM_A/CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| B                      | $SC_B$            | 1                      | $CM_B$         | $CM_B/CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| Interacciones          |                   |                        |                |                |              |
| AB                     | $SC_{AB}$         | 1                      | $CM_{AB}$      | $CM_{AB}/CM_E$ | $P(F > F_0)$ |
| Error                  | $SC_E$            | $2^3 \times 10(n - 1)$ | $CM_E$         |                |              |
| Total                  | $SC_T$            | $n2^3 \times 10 - 1$   |                |                |              |

Fuente: Gutiérrez, (2008)

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Obtención del extracto acuoso de la quinua y tarwi.

Para la obtención del extracto acuosos de quinua y tarwi se procedió a determinar considerando la relación de producto:agua, y para elegir el mejor proceso de extracción, se consideró el nivel de sedimentación de las partículas sólidas, toda vez que en los yogures elaborados con sustitución parcial de leche por productos andinos o similar, tienden a presentar separación de fases (Colque, 2016). Por otro lado, el cálculo de la densidad de los extractos acuosos de quinua y tarwi, se realizó utilizando las ecuaciones N° 9, 10, 11, 12, 13.

El resultado de sedimentación promedio de las tres réplicas de la quinua se muestra en la tabla N° 26, y del tarwi en la tabla N° 27; El volumen sedimentado en porcentajes se calculó utilizando un volumen inicial de 100 mL. En ambas tablas se observó que el volumen de sedimentación de solidos de quinua y tarwi disminuye conforme se incrementa la cantidad de agua en los tratamientos para la obtención de extracto acuoso.

Tabla N° 26: Resultado de sedimentación de extracto acuoso de quinua

| Quinua:agua<br>g:mL | Tratamiento<br>Numérico | Volumen<br>inicial<br>mL | Volumen<br>sedimentado*<br>mL | Volumen<br>sedimentado*<br>% |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1:1                 | T1EAQ                   | 10                       | 7.4±0.153                     | 74±1.53                      |
| 1:1.1               | T2EAQ                   | 10                       | 6.8±0.20                      | 68±2.0                       |
| 1:1.2               | T3EAQ                   | 10                       | 6.4±0.20                      | 64±2.0                       |
| 1:1.3               | T4EAQ                   | 10                       | 5.2±0.115                     | 52±1.15                      |
| 1:1.4               | T5EAQ                   | 10                       | 5.6±0.115                     | 56±1.15                      |
| 1:1.5               | T6EAQ                   | 10                       | 6.6±0.115                     | 66±1.15                      |

\*Resultados en promedio de las tres replicas realizadas

Tabla N° 27: Resultado de sedimentación de extracto acuoso de tarwi

| Tarwi:Agua<br>g:mL | Tratamiento<br>numérico | Volumen<br>inicial<br>mL | Volumen<br>sedimentado*<br>mL | Volumen<br>sedimentado*<br>% |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1:1                | T1EAT                   | 10                       | 6.3±0.058                     | 63±0.58                      |
| 1:1.2              | T2EAT                   | 10                       | 6.5±0.000                     | 65±0.00                      |
| 1:1.4              | T3EAT                   | 10                       | 6.4±0.058                     | 64±0.58                      |
| 1:1.6              | T4EAT                   | 10                       | 6.1±0.058                     | 61±0.58                      |
| 1:1.8              | T5EAT                   | 10                       | 4.6±0.058                     | 46±0.58                      |
| 1:2                | T6EAT                   | 10                       | 4.2±0.058                     | 42±0.58                      |

\*Resultados en promedio de las tres replicas realizadas

Para mostrar los resultados gráficamente de los tratamientos de la sedimentación de los extractos acuosos de quinua y tarwi, se graficó el porcentaje de sedimentación versus la relación de producto:agua a diferentes proporciones, el cual fueron establecidos en los tratamientos.

El resultado de los tratamientos en función de la sedimentación de los extractos de quinua se muestra en la figura N° 6, en donde se observó que desde el tratamiento 1 (T1EAQ) hasta el T4EAQ el porcentaje de sedimentación parece ser inversamente proporcional a la cantidad de agua adiciona, donde a más cantidad de agua es menor la cantidad de solidos sedimentados. Por otro lado, a partir del T5EAQ se observó un crecimiento proporcional, más agua genera mayor sedimentación, sin embargo, se tiene que considerar que los tratamientos T5EAQ y T6EAQ no presentaron una sedimentación completa en el tiempo establecido por la metodología para la sedimentación.

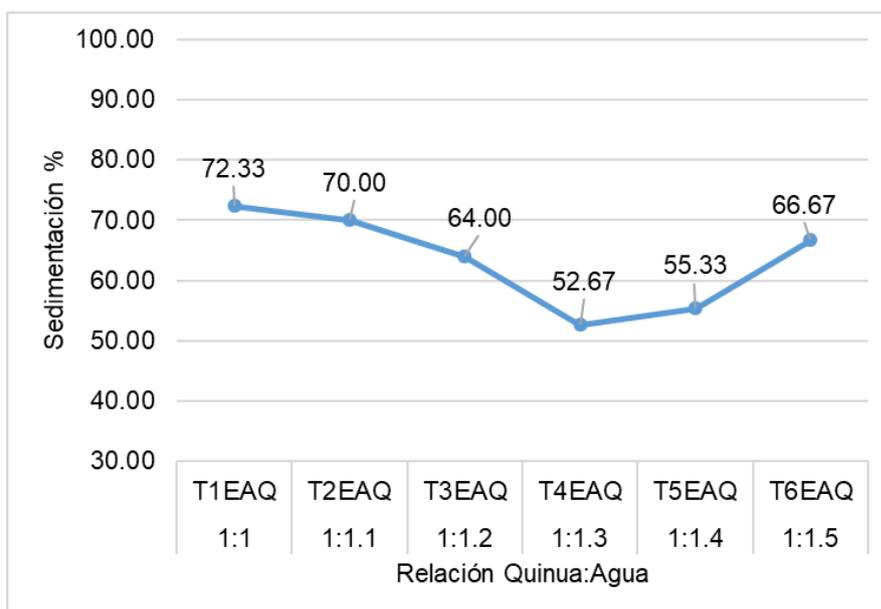


Figura N° 6: Gráfico de barras de sedimentación vs relación de producto:agua

Para los tratamientos de sedimentación del extracto acuoso de tarwi, gráficamente el resultado se muestra en la figura N° 7, en donde se observó que desde el tratamiento 1 (T1EAQ) hasta el T4EAQ el porcentaje de sedimentación parece ser inversamente proporcional a la cantidad de agua adiciona, donde a más cantidad de agua es menor la cantidad de solidos sedimentados.

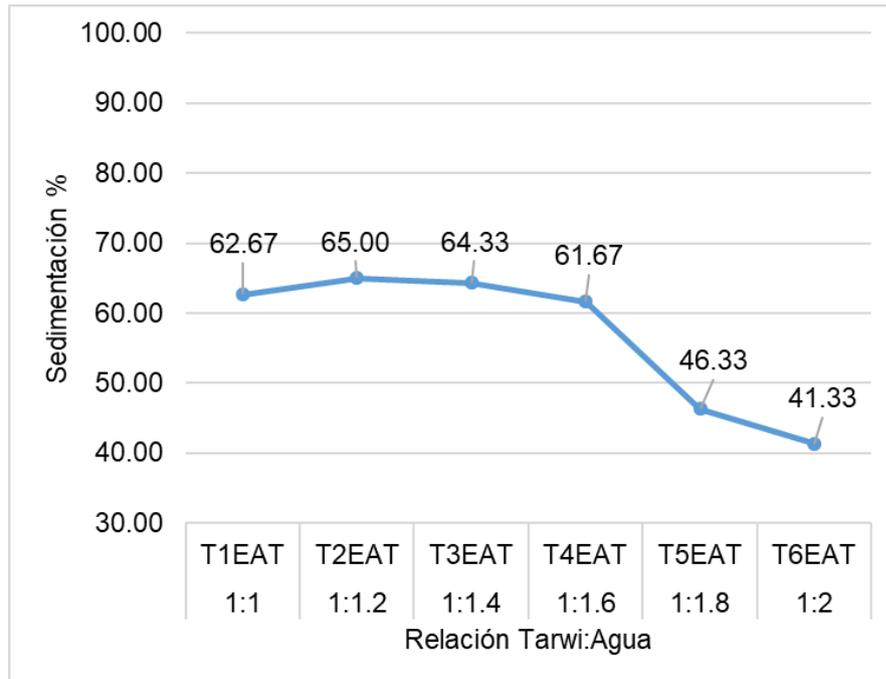


Figura N° 7: Gráfico de sedimentación vs relación de tarwi:agua

El análisis de varianza (ANOVA) para el extracto acuoso de quinua se muestra en el anexo N° 1 y del extracto acuoso de tarwi en el anexo N° 4, donde se determinó la diferencia significativa. Para el extracto acuoso de quinua presentó el valor- $p=9.257E-09$  y para el extracto acuoso de tarwi se obtuvo el valor- $p=1.21E-15$ , siendo ambos menores que la significancia prefijada  $\alpha=0.05$ ; por lo tanto, en ambos extractos acuosos presenta una diferencia estadísticamente significativa. Entonces, la sedimentación de los sólidos de la quinua y tarwi varía según la cantidad de agua adicionada para la extracción del extracto acuoso de quinua y tarwi. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias al menos en algunos tratamientos.

Al rechazar la hipótesis nula mediante el ANOVA, y al concluirse que no hay igualdad entre las medias de los tratamientos en la sedimentación de los extractos acuosos, el gráfico de medias ha permitido hacer una comparación visual y estadística de los tratamientos respecto a la sedimentación para diferenciar cuales tratamientos son diferentes entre sí. Además, que la gráfica de medias se realizó la sedimentación versus los tratamientos de relación de producto:agua. En la figura N° 8 se presenta el gráfico de medias del extracto acuoso de quinua, con un intervalo de confianza de acuerdo con la prueba de Tukey. Se ha observado que el método Tukey, detecto con una confianza del

95 % al tratamiento  $4 \neq 1$ ,  $4 \neq 2$ ,  $4 \neq 3$  y  $4 \neq 6$ , en los cuales intervalos de confianza de los tratamientos mencionados no se traslapan, por lo que, son estadísticamente diferentes. Por otro lado, el tratamiento  $1 = 2$  y  $5 = 6$  tiene las medias iguales, por lo cual, los intervalos de confianza se traslapan y esto dio a entender que son estadísticamente iguales en cuanto a sus medias.

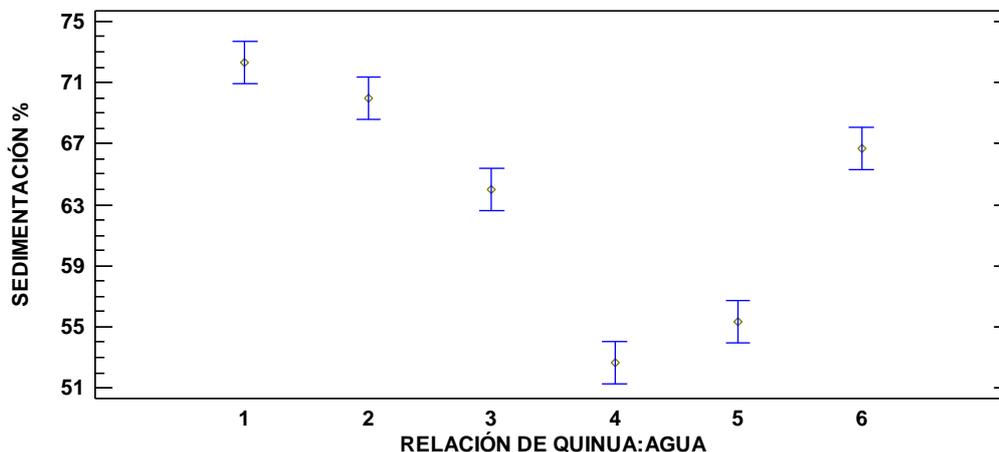


Figura N° 8: Gráfico de medias

En la figura N° 9 se presenta el gráfico de medias del extracto acuoso de quinua, con un intervalo de confianza de acuerdo con la prueba de Tukey. Se ha observado que el método Tukey, detecto con una confianza del 95 % al tratamiento  $4 \neq 2$ ,  $4 \neq 3$ ,  $4 \neq 5$  y  $4 \neq 6$ , en los cuales intervalos de confianza de los tratamientos mencionados no se traslapan, por lo que, son estadísticamente diferentes. Por otro lado, el tratamiento  $1 = 4$  y  $2 = 3$  tiene las medias iguales, por lo cual, los intervalos de confianza se traslapan y esto dio a entender que son estadísticamente iguales en cuanto a sus medias.

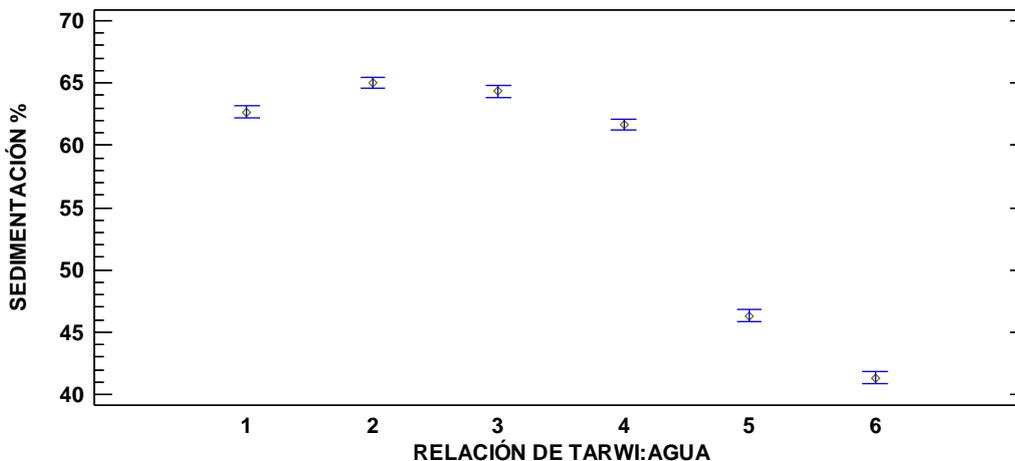


Figura N° 9: Gráfico de medias

Después de rechazar la hipótesis nula en un análisis de varianza y comparar el comportamiento de las medias de los extractos acuosos, fue necesario ir a detalle para observar que tratamientos de extractos acuosos son diferentes específicamente. Para lo cual, se utilizó el método de Tukey, que es más conservador para comparar los pares de las medias de los tratamientos.

Las diferencias significativas de la sedimentación del extracto acuoso de quinua que fueron calculados mediante la prueba de rango múltiples de Tukey se muestra en el anexo N° 2 y en la tabla N° 28 se observa las pruebas de rango múltiples de Tukey con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. En el cual, los tratamientos T1EAQ-T2EAQ, T2EAQ -T6EAQ, T3EAQ -T6EAQ y T4EAQ -T5EAQ no presentaron diferencias significativas; mientras que en el resto de las comparaciones de los tratamientos si ha presentado diferencias significativas.

Tabla N° 28: Sedimentación del extracto acuoso de quinua

| Tratamiento | Casos | Sólidos Sedimentados (%) | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|--------------------------|-------------------|
| T4EAQ       | 3     | 52.667±1.1547            | d                 |
| T5EAQ       | 3     | 55.333±1.1547            | d                 |
| T3EAQ       | 3     | 64.000±2.0               | c                 |
| T6EAQ       | 3     | 66.667±1.1547            | cb                |
| T2EAQ       | 3     | 70.000±2.0               | ba                |
| T1EAQ       | 3     | 72.333±1.52753           | a                 |

Para la sedimentación del extracto acuoso de tarwi, las diferencias significativas calculados por la prueba de rango múltiples se muestra en el anexo N° 5 y en la tabla N° 29 se observa las pruebas de rango múltiples de Tukey con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. Donde los tratamientos T1EAT-T4EAT y T2EAT-T3EAT no presentan diferencias significativas ya que presentaron un traslape; mientras que en el resto de las comparaciones de los tratamientos si presentan diferencias significativas.

Tabla N° 29: Sedimentación del extracto acuoso de tarwi

| Tratamiento | Casos | Sólidos sedimentados (%) | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|--------------------------|-------------------|
| T6EAT       | 3     | 41.333±0.57735           | d                 |
| T5EAT       | 3     | 46.333±0.57735           | c                 |
| T4EAT       | 3     | 61.667±0.57735           | b                 |
| T1EAT       | 3     | 62.667±0.57735           | b                 |
| T3EAT       | 3     | 64.333±0.57735           | a                 |
| T2EAT       | 3     | 65.000±0                 | a                 |

En este caso se observó que los tratamientos que tiene mejores medias de sedimentación fueron el tratamiento 4 del extracto acuoso de tarwi (T4EAT), T1EAT, T3EAT y T2EAT que consta de una relación de tarwi: agua en el nivel de 1:1.6, 1:1, 1:1.4 y 1:1.2 respectivamente. Obteniendo 61.6667 % para T4EAT, 62.667 % para T1EAT, 64.333 % para T3EAT y 65.0 % para T2EAT de sedimentación de sólidos del extracto acuoso de tarwi.

Para la elaboración del yogurt con extracto acuoso quinua y tarwi, es importante que los sólidos de ambos productos mejoren los sólidos de la leche en la elaboración del yogurt batido y no alteren drásticamente las características físicas de este producto durante su procesamiento a yogurt y de esta forma garantizar que el cultivo láctico fermenta a la lactosa de la leche a ácido láctico. Siendo así, de las pruebas realizadas según el análisis estadístico efectuado al 95 %, se determinó como mejor extracto acuoso de quinua al tratamiento 4 (T4EAQ) con la relación de quinua:agua de 1:1.3 y una densidad promedio de 1072.62 kg/m<sup>3</sup> el cual se muestra en el anexo N° 3. Además, es importante mencionar que un menor porcentaje de sólidos del extracto acuoso de quinua no gelatiniza totalmente a la leche, lo cual, no genera cambios en sus propiedades físicas. Pereira (2010), menciona que la relación de quinua:agua adecuada para la elaboración de leche de quinua (extracto acuoso de quinua) es de 1:1.4 el cual presenta 55.33 % de sólidos sedimentados y un 44.67 % de sobrenadante.

Por otro lado, de las pruebas realizadas según el análisis estadístico efectuado al 95 %, se determinó como mejor extracto acuoso de tarwi al tratamiento 4 (T4EAT) con la relación de tarwi:agua de 1:1.6 y al T1EAT (1:1) con una densidad promedio de 1009.87 kg/m<sup>3</sup> y 1010.96 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, los cuales se muestran en el anexo N° 6. De ambos tratamientos se escogió al T4EAT, ya que, al momento de licuarlo los granos de tarwi con la cantidad de agua establecido para este tratamiento, se tritura de mejor manera y facilita la obtención del extracto acuoso. Además, es importante mencionar que un menor porcentaje de sólidos del extracto acuoso de tarwi modifica parcialmente el sabor a la leche. los tratamientos T5EAT y T6EAT, no se consideraron para poder determinar el mejor tratamiento, ya que su porcentaje de sedimentación es por debajo del 50 %; además, su producción a gran escala de extracto acuoso de tarwi con estos tratamientos generaría pérdidas económicas considerable. Colque (2016) menciona que al obtener el

extracto acuoso de tarwi, la mejor concentración en la preparación es en una relación de 1:2 (tarwi:agua). Esto difiere con la investigación realizada ya que a una relación de 1:2 (T6EAT) el porcentaje de sólidos sedimentados es relativamente bajo ya que alcanza a un 41.33 %, mientras que la relación de tarwi y agua de 1:1.6 (T4EAT) se obtiene un sedimento de 61.67 %.

#### 4.2. Proporción de quinua y tarwi para el yogurt batido.

Para la obtención de las proporciones de extracto acuoso de quinua y tarwi se mezclaron con la leche y se procedió a determinar la viscosidad después de la pasteurización utilizando las ecuaciones N°14 y 15; por lo tanto, para poder elegir el mejor porcentaje de extracto de ambos productos, se consideró la viscosidad, toda vez que en los yogures elaborados con sustitución parcial de leche por productos andinos o similar estas tienden a presentar cambios en sus propiedades físicas. Además, se determinó la viscosidad a 50 rpm y 100 rpm en el tiempo de 60 segundos, para realizar una comparación y determinar el mejor tratamiento. Por otro lado, para mantener la temperatura estable se dejó al ambiente después de la refrigeración los tratamientos, hasta que alcanzo una temperatura de 16 °C aproximadamente.

##### 4.2.1. Viscosidad de la mezcla

###### a) A velocidad de 50 rpm

El resultado de la viscosidad de la mezcla del extracto acuoso de quinua, tarwi y leche obtenidos a la velocidad de 50 rpm se muestra en la tabla N° 30. En el cual, los tratamientos de extracto acuoso se mezclaron en porcentajes y para completar al 100 % se utilizó leche. Siendo así, se observó que la viscosidad incrementa al aumentar el porcentaje de extracto acuoso de quinua y tarwi; sin embargo, el tratamiento 4 a menor velocidad (T4MEV) presentó una separación de fases de sólido y líquido por lo que hubo una disminución respecto a su viscosidad.

Tabla N° 30: Viscosidad de la mezcla de extractos acuosos a 50 rpm

| Tratamiento Numérico | Tratamiento Descriptivo | Reómetro      |            |                | Viscosidad aparente* Pa.s |
|----------------------|-------------------------|---------------|------------|----------------|---------------------------|
|                      |                         | Viscosidad cP | Torque (%) | Temperatura °C |                           |
| T1MEV                | 10 % Q y 4 % T          | 66.5          | 0.1        | 16.7±0.2       | 59.4713±4.27              |
| T2MEV                | 20 % Q y 5 % T          | 66.5          | 0.1        | 16.7±0.1       | 307.15±24.99              |
| T3MEV                | 30 % Q y 6 % T          | 66.5          | 0.1        | 16.7±0.2       | 1079.12±145.59            |
| T4MEV                | 40 % Q y 7 % T          | 66.5          | 0.1        | 16.7±0.2       | 425.864±50.09             |

\* Resultados en promedio de las tres replicas realizadas

Para mostrar los resultados gráficamente de los tratamientos de la viscosidad a 50 rpm, de la mezcla de los extractos acuosos de quinua y tarwi, se graficó la viscosidad versus los tratamientos; el cual, se muestra en la figura N° 10, en donde se observó que desde el tratamiento T1MEV hasta el T3MEV la viscosidad parece tener crecimiento directamente proporcional, por lo que, al incrementar el porcentaje de los extractos acuosos en la mezcla, aumenta la viscosidad.

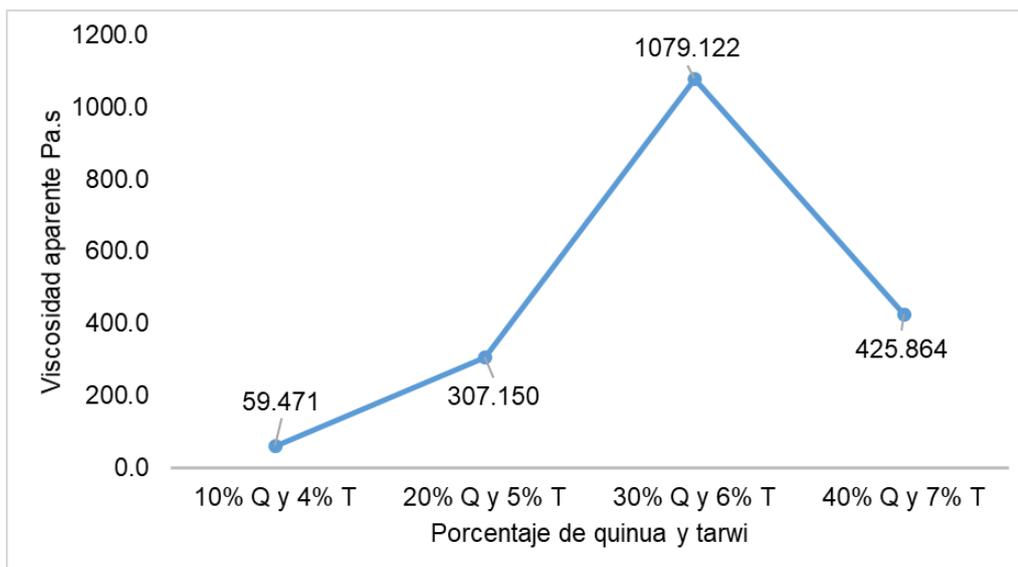


Figura N° 10: Viscosidad aparente vs el porcentaje de quinua y tarwi

El ANOVA para la viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos se muestra en anexo N° 7, donde se determinó la diferencia significativa. Para la viscosidad se obtuvo un valor-p = 1.4495E-06, siendo menor que la significancia prefijada  $\alpha=0.05$ ; por lo tanto, la viscosidad de la mezcla de extractos acuosos presenta una diferencia estadísticamente significativa. Siendo así, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias de la viscosidad aparente y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias de viscosidad aparente para algunos tratamientos.

Al rechazar la hipótesis nula mediante el ANOVA, y al concluirse que no hay igualdad entre las medias de los tratamientos en la viscosidad de la mezcla del extracto acuoso, el gráfico de medias ha permitido hacer una comparación visual y estadística de los tratamientos respecto a la viscosidad para diferenciar cuales tratamientos son diferentes entre sí. Además, la gráfica de medias se realizó la viscosidad versus los tratamientos de la mezcla de los extractos acuosos.

En la figura N° 11 se presenta el gráfico de medias de la viscosidad a 50 rpm de la mezcla de los extractos acuosos, con un intervalo de confianza de acuerdo con la prueba de Tukey. Se ha observado que el método Tukey, detecto con una confianza del 95 % al tratamiento  $3 \neq 1$ ,  $3 \neq 2$  y  $3 \neq 4$ , en los cuales los intervalos de confianza de los tratamientos mencionados no se traslapan, por lo que, son estadísticamente diferentes. Por otro lado, el tratamiento  $2 = 4$ , tiene las medias iguales, por lo cual, los intervalos de confianza se traslapan y esto dio a entender que son estadísticamente iguales en cuanto a sus medias.

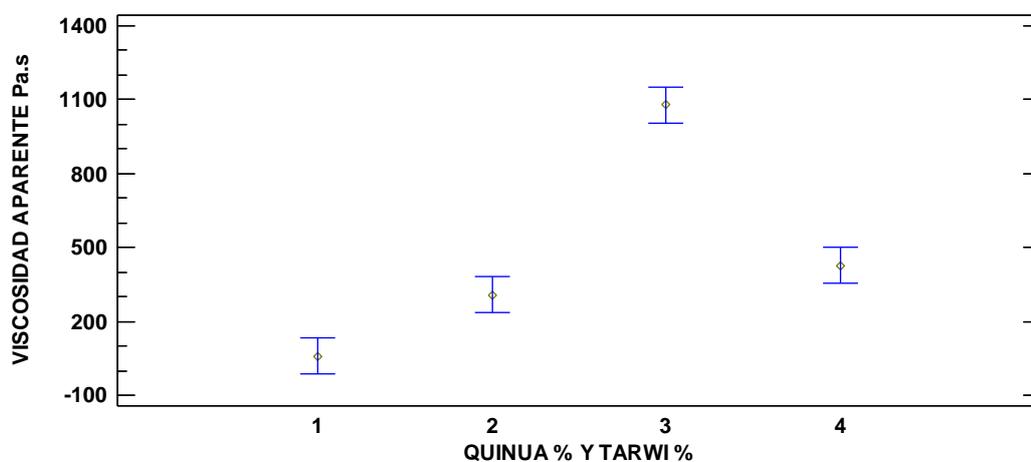


Figura N° 11: Medias y 95 % de Tukey HSD

Después de rechazar la hipótesis nula en un análisis de varianza y comparar el comportamiento de las medias de los extractos acuosos, fue necesario ir a detalle para observar que tratamientos de la viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos son diferentes específicamente. Para lo cual, se utilizó el método de Tukey, que es más conservador para comparar los pares de las medias de los tratamientos.

Las diferencias significativas de viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos que fueron calculados mediante la prueba de rango múltiples de Tukey se muestra en el anexo N° 8 y en la tabla N° 31 se observa las pruebas de rango múltiples de Tukey con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. En el cual, los tratamientos T1MEV – T2MEV, T1MEV – T3MEV, T1MEV – T4MEV, T2MEV – T3MEV y T3MEV – T4MEV presentaron diferencias significativas; mientras que los tratamientos T2MEV – T4MEV no presentó diferencias significativas.

Tabla N° 31: Del método 95 % Tukey HSD

| Tratamientos | Casos | Viscosidad aparente<br>Pa.s | Grupos<br>Homogéneos |
|--------------|-------|-----------------------------|----------------------|
| T1MEV        | 3     | 59.471                      | c                    |
| T2MEV        | 3     | 307.150                     | b                    |
| T4MEV        | 3     | 425.864                     | b                    |
| T3MEV        | 3     | 1079.120                    | a                    |

Para la elaboración del yogurt con extracto acuoso quinua y tarwi, es importante que los sólidos de ambos productos mejoren los sólidos de la leche en la elaboración del yogurt batido y no alteren drásticamente las características físicas de este producto durante su procesamiento a yogurt y de esta forma garantizar que el cultivo láctico fermente a la lactosa de la leche a ácido láctico. Siendo así, de las pruebas realizadas según el análisis estadístico efectuado al 95 % de confianza, se determinó como mejores mezclas de extracto acuoso de quinua a los tratamientos T1MEV y el T2MEV que consta de 10 % Q y 4 % T con  $59.4713 \pm 4.27$  Pa.s de viscosidad aparente y de 20 % Q y 5 % T con  $307.15 \pm 24.99$  Pa.s de viscosidad aparente respectivamente.

**b) A velocidad de 100 rpm**

El resultado de la viscosidad de la mezcla del extracto acuoso de quinua, tarwi y leche obtenidos a la velocidad de 100 rpm se muestra en la tabla N° 32. En el cual, los tratamientos de extracto acuoso se mezclaron en porcentajes y para completar al 100 % se utilizó leche. Siendo así, se observó que la viscosidad incrementa al aumentar el porcentaje de extracto acuoso de quinua y tarwi; sin embargo, el tratamiento 4 a mayor velocidad (T4MAV) presentó una separación de fases de sólido y líquido por lo que hubo una disminución respecto a su viscosidad.

Tabla N° 32: Viscosidad de la mezcla de extractos acuosos a 100 rpm

| Tratamiento<br>Numérico | Tratamiento<br>Descriptivo | Reómetro         |               |                   | Viscosidad<br>aparente<br>Pa.s |
|-------------------------|----------------------------|------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
|                         |                            | Viscosidad<br>cP | Torque<br>(%) | Temperatura<br>°C |                                |
| T1MAV                   | 10 % Q y 4 % T             | 66.5             | 0.1           | $16.7 \pm 0.1$    | $55.6633 \pm 07.57$            |
| T2MAV                   | 20 % Q y 5 % T             | 66.5             | 0.1           | $16.7 \pm 0.2$    | $203.195 \pm 22.64$            |
| T3MAV                   | 30 % Q y 6 % T             | 66.5             | 0.1           | $16.7 \pm 0.1$    | $689.442 \pm 119.52$           |
| T4MAV                   | 40 % Q y 7 % T             | 66.5             | 0.1           | $16.7 \pm 0.2$    | $267.218 \pm 38.66$            |

\* Resultados en promedio de las tres replicas realizadas

Para mostrar los resultados gráficamente de los tratamientos de la viscosidad a 100 rpm, de la mezcla de los extractos acuosos de quinua y tarwi, se graficó la viscosidad versus los tratamientos; el cual, se muestra en la figura N° 12, en donde se observó que desde el tratamiento T1MEV hasta el T3MEV la viscosidad parece tener crecimiento directamente proporcional, por lo que, al incrementar el porcentaje de los extractos acuosos en la mezcla, aumenta la viscosidad.

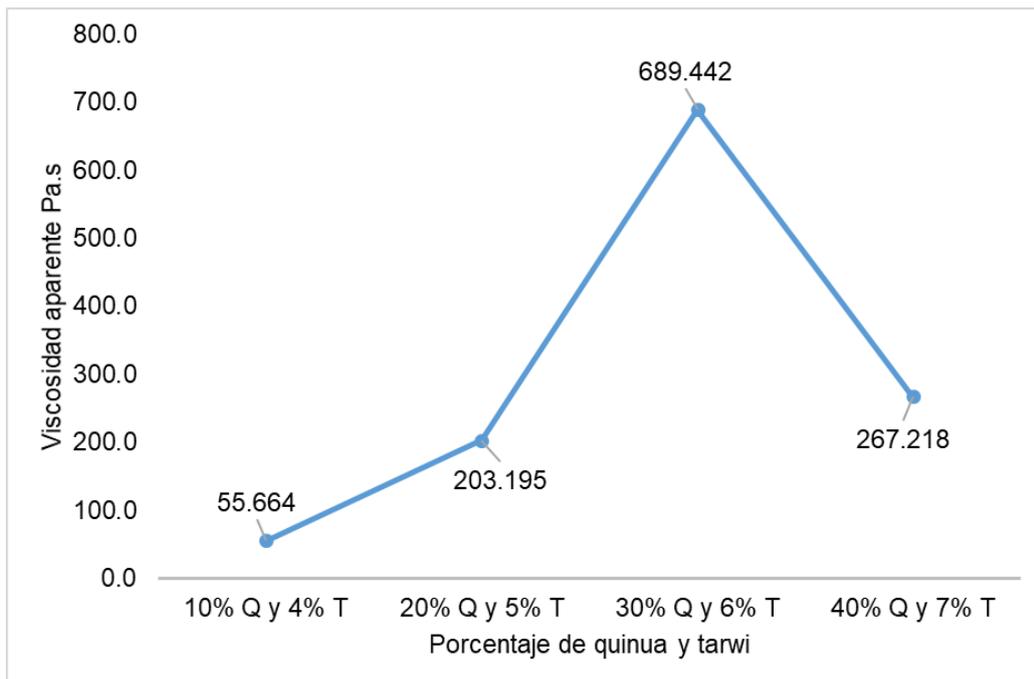


Figura N° 12: Gráfico de la viscosidad aparente vs el porcentaje de quinua y tarwi

El ANOVA para la viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos se muestra en anexo N° 9, donde se determinó la diferencia significativa. Para la viscosidad se obtuvo un valor-p = 1.163E-05, siendo menor que la significancia prefijada  $\alpha=0.05$ ; por lo tanto, la viscosidad de la mezcla de extractos acuosos presenta una diferencia estadísticamente significativa. Siendo así, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias de la viscosidad aparente y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias de viscosidad aparente para algunos tratamientos.

Al rechazar la hipótesis nula mediante el ANOVA, y al concluirse que no hay igualdad entre las medias de los tratamientos en la viscosidad de la mezcla del extracto acuoso, el gráfico de medias ha permitido hacer una comparación visual y estadística de los tratamientos respecto a la viscosidad

para diferenciar cuales tratamientos son diferentes entre sí. Además, la gráfica de medias se realizó la viscosidad versus los tratamientos de la mezcla de los extractos acuosos.

En la figura N° 13 se presenta el gráfico de medias de la viscosidad a 100 rpm de la mezcla de los extractos acuosos, con un intervalo de confianza de acuerdo con la prueba de Tukey. Se ha observado que el método Tukey, detecto con una confianza del 95 % al tratamiento  $3 \neq 1$ ,  $3 \neq 2$  y  $3 \neq 4$ , en los cuales los intervalos de confianza de los tratamientos mencionados no se traslapan, por lo que, son estadísticamente diferentes. Por otro lado, los tratamientos  $1 = 2$  y  $2 = 4$ , tienen las medias iguales, por lo cual, los intervalos de confianza se traslapan y esto dio a entender que son estadísticamente iguales en cuanto a sus medias.

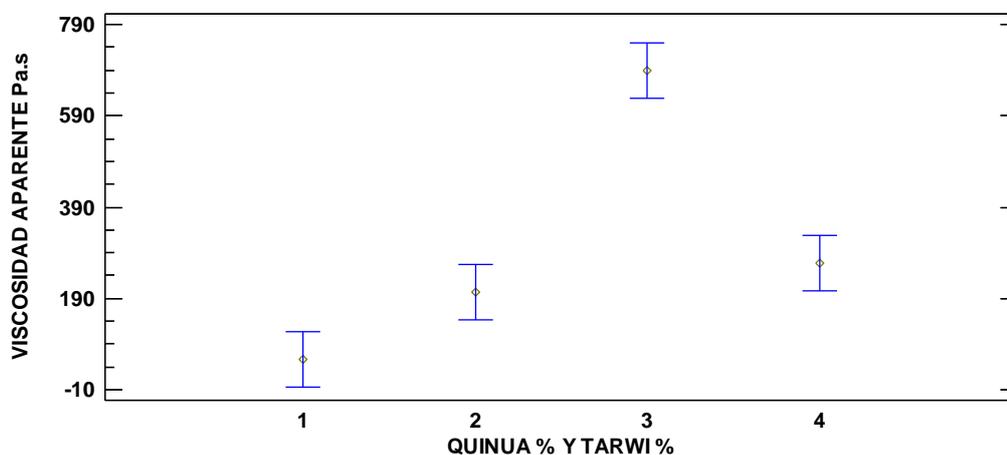


Figura N° 13: Medias y 95 % de Tukey HSD

Después de rechazar la hipótesis nula en un análisis de varianza y comparar el comportamiento de las medias de los extractos acuosos, fue necesario ir a detalle para observar que tratamientos de la viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos son diferentes específicamente. Para lo cual, se utilizó el método de Tukey, que es más conservador para comparar los pares de las medias de los tratamientos.

Las diferencias significativas de viscosidad de la mezcla de los extractos acuosos que fueron calculados mediante la prueba de rango múltiples de Tukey se muestra en el anexo N° 10 y en la tabla N° 33 se observa las pruebas de rango múltiples de Tukey con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. En el cual, los tratamientos T1MAV – T3MAV, T1MAV – T4MAV, T2MAV – T3MAV y T3MAV – T4MAV

presentaron diferencias significativas; mientras que los tratamientos T1MAV – T2MAV y T2MAV –T4MAV no presentó diferencias significativas.

Tabla N° 33: Del método 95 % Tukey HSD

| Tratamientos | Casos | Viscosidad aparente Pa.s | Grupos Homogéneos |
|--------------|-------|--------------------------|-------------------|
| T1MAV        | 3     | 55.663                   | c                 |
| T2MAV        | 3     | 203.195                  | cb                |
| T4MAV        | 3     | 267.218                  | b                 |
| T3MAV        | 3     | 689.442                  | a                 |

Para la elaboración del yogurt con extracto acuoso quinua y tarwi, es importante que los sólidos de ambos productos mejoren los sólidos de la leche en la elaboración del yogurt batido y no alteren drásticamente las características físicas de este producto durante su procesamiento a yogurt y de esta forma garantizar que el cultivo láctico fermente a la lactosa de la leche a ácido láctico.

Siendo así, de las pruebas realizadas según el análisis estadístico efectuado al 95 % de confianza, se determinó como mejores mezclas de extracto acuoso de quinua a los tratamientos T1MEV y el T2MEV que consta de 10 % Q y 4 % T con 59.7413 Pa.s de viscosidad aparente y de 20 % Q y 5 % T con 307.15 Pa.s de viscosidad aparente respectivamente.

#### 4.2.2. Selección del mejor tratamiento de extractos acuosos

En el proceso de pasteurización, el porcentaje de adición de la mezcla de extractos acuosos mejoran los sólidos de la leche y a la misma vez modifica sus propiedades físicas; en el cual, a mayor porcentaje de adición, la viscosidad incrementa por la gelatinización del almidón que presenta el extracto acuoso de quinua. Por lo tanto, para seleccionar el mejor tratamiento, se tuvo en cuenta la mezcla que no altero drásticamente la viscosidad de la leche después de la pasteurización.

De las pruebas realizadas de la viscosidad aparente a 50 rpm y 100 rpm, según el análisis estadístico efectuado al 95 % de confianza, se determinó como mejores mezclas de extracto acuoso de quinua a los tratamientos T1MEV y el T2MEV que consta de 10 % Q y 4 % T con 59.7413 Pa.s de viscosidad aparente y de 20 % Q y 5 % T con 307.15 Pa.s de viscosidad aparente respectivamente. Ramirez y Vélez (2009) al mejorar las características físicas de la leche incrementado los sólidos para su

procesamiento a yogurt, obtuvieron una viscosidad de 537.63 Pa.s.; el cual, es mucho mayor a lo determinado experimentalmente en presente trabajo de investigación.

En la tabla N° 34 se muestra los porcentajes de extractos acuosos que se obtuvieron como mejor tratamiento, los cuales fueron utilizados como los niveles mínimos y máximos de los factores en la obtención del yogurt batido de quinua y tarwi.

Tabla N° 34: Mínimos y máximos niveles de los factores

|                           | Unidad | Niveles |     |
|---------------------------|--------|---------|-----|
| Extracto acuoso de quinua | %      | 10      | 20  |
| Extracto acuoso de tarwi  | %      | 5       | 4   |
| Leche                     | %      | 85      | 76  |
| TOTAL                     | %      | 100     | 100 |

Entonces, para determinar los niveles de la leche se ha tomado un mínimo y máximo de los extractos acuosos de quinua y tarwi. De esta manera se ha obtenido que el nivel mínimo para la leche es de 76 % y el nivel máximo es de 85 %.

#### 4.3. Características reológicas y fisicoquímicas yogurt batido

Para la obtención de las características reológicas y fisicoquímicas del yogurt batido, se procedió a obtener datos en el viscosímetro Fungilab y partir de ello, se determinó la viscosidad aparente mediante la metodología Mitschka, el cual utiliza las ecuaciones N° 14 y 15. Además, para determinar el efecto de los extractos acuosos en el yogurt, se determinó mediante el análisis de covarianza, evaluándose la interacción y la diferencia significativa. Por otro lado, para elegir los mejores tratamientos, se utilizó un sistema de puntuación, el cual fue determinado por los datos obtenidos a partir de panelistas no entrenados, los cuales evaluaron las características sensoriales del yogurt batido. A los mejores tratamientos se determinó el índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) e índice de consistencia ( $k$ ).

##### 4.3.1. Viscosidad del yogurt ( $\nu$ )

Los resultados de la viscosidad aparente del tratamiento 1 al tratamiento 8, determinados con los datos obtenidos del reómetro desde una velocidad mínima de 10 rpm hasta una velocidad de 100 rpm se encuentran los Anexo N° 12, Anexo N° 13, Anexo N° 14, Anexo N° 15, Anexo N° 16, Anexo N° 17, Anexo N° 18 y Anexo N° 19. El ANOVA que se determinó

mediante el análisis de Covarianza, para la viscosidad del yogurt batido con sustitución parcial de extracto acuoso de quinua y tarwi, se muestra en el anexo N° 20, en el cual se obtuvo la diferencia significativa. En la tabla N° 35 se muestra los promedios de la viscosidad aparente a diferentes velocidades de giro y en cada tratamiento del yogurt batido con sustitución parcial de la leche por extractos acuoso de quinua y tarwi.

Tabla N° 35: Viscosidad aparente del yogurt batido

| Velocidad (rpm) | Viscosidad aparente mPa.s* |         |        |         |         |         |        |         |
|-----------------|----------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|
|                 | T1                         | T2      | T3     | T4      | T5      | T6      | T7     | T8      |
| 10              | 250.26                     | 2249.17 | 386.71 | 1908.20 | 1003.52 | 1180.26 | 584.99 | 2541.73 |
| 20              | 124.83                     | 1348.00 | 189.50 | 1263.92 | 847.16  | 597.84  | 342.62 | 1610.42 |
| 30              | 136.62                     | 992.22  | 156.67 | 1012.40 | 837.47  | 454.45  | 334.39 | 1199.40 |
| 40              | 205.91                     | 818.44  | 131.81 | 796.41  | 818.31  | 360.83  | 307.24 | 1012.80 |
| 50              | 141.50                     | 823.13  | 71.70  | 684.95  | 748.19  | 296.15  | 277.78 | 868.84  |
| 60              | 135.66                     | 650.34  | 49.37  | 586.00  | 641.53  | 251.54  | 221.19 | 766.18  |
| 70              | 116.04                     | 660.60  | 45.23  | 514.43  | 606.10  | 216.57  | 245.86 | 674.17  |
| 80              | 157.15                     | 603.54  | 63.41  | 484.67  | 601.07  | 194.09  | 263.07 | 633.68  |
| 90              | 150.23                     | 537.56  | 51.69  | 434.32  | 571.19  | 176.45  | 249.77 | 579.31  |
| 100             | 154.40                     | 501.89  | 45.73  | 408.93  | 553.51  | 159.98  | 232.87 | 539.71  |

\*viscosidad promedio de tres replicas

Los factores que generan ruido sobre la variable dependiente se evaluaron como covariables, y así garantizar que los factores principales fueron evaluación sin interferencia.

Siendo así, en los efectos principales se obtuvo un valor-p = 0.0117 para el extracto acuoso de quinua, siendo menor que la significancia prefijada  $\alpha=0.05$ ; por lo tanto, el extracto acuoso de quinua tiene un efecto significativo sobre las características reológicas del yogurt batido. Entonces, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias de la viscosidad aparente y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias de viscosidad aparente para algunos tratamientos. Por otro lado, para el extracto acuoso de tarwi, se obtuvo un valor-p = 0.6168; siendo mayor que la significancia prefijada  $\alpha=0.05$ . Por lo tanto, no tiene un efecto sobre las características reológicas del yogurt batido. Siendo así, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias para algunos tratamientos.

Para el caso de la interacción de los extractos acuoso de quinua y tarwi (AB), se obtuvo un valor-p = 0.0332; siendo menor que la significancia

prefijada  $\alpha=0.05$ , por lo tanto, la interacción de los extractos acuosos de quinua y tarwi tiene un efecto significativo sobre las características reológicas del yogurt batido. Entonces, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de iguales medias de la viscosidad aparente y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) de diferentes medias de viscosidad aparente para algunos tratamientos.

Las diferencias significativas del efecto del extracto acuoso de quinua sobre la viscosidad el yogurt fue calculados mediante la prueba de rango múltiples de Tukey el cual se muestra en la tabla N° 36 conjuntamente con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. Los tratamientos con extracto acuoso de quinua al 10 % - 20 % añadidos en la elaboración de yogurt, presentaron diferencias significativas.

Tabla N° 36: Prueba de rango múltiple de Tukey para la quinua.

| Quinua % | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------|-------|----------|----------|-------------------|
| 10       | 120   | 501.088  | 31.6996  | a                 |
| 20       | 120   | 615.055  | 31.6996  | b                 |

Por otro lado, las diferencias significativas del efecto de la interacción del extracto acuoso de quinua y tarwi sobre la viscosidad del yogurt fueron calculados mediante la prueba de rango múltiples de Tukey, el cual se muestra en la tabla N° 37 conjuntamente con sus grupos homogéneos a un nivel de confianza del 95 %. En el cual, los tratamientos (10 % y 5 %) – (20 % y 4 %), (10 % y 5 %) – (20 % y 5 %), presentaron diferencias significativas; mientras que los tratamientos (10 % y 5 %) – (10 % y 4 %), (10 % y 4 %) – (20 % y 4 %), (10 % y 4 %) – (20 % y 4 %) no presentaron diferencias significativas.

Tabla N° 37: Prueba de rangos múltiples para la interacción

| Quinua | Tarwi | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|-------|----------|----------|-------------------|
| 10     | 5     | 120   | 674.3    | 44.83    | a                 |
| 10     | 4     |       | 555.81   | 44.83    | ab                |
| 20     | 4     | 120   | 537.87   | 44.83    | b                 |
| 20     | 5     |       | 464.3    | 44.83    | b                 |

En la Figura N° 14, se aprecia el comportamiento de los extractos acuosos de quinua (A) y tarwi (B) sobre la viscosidad generando una interacción (AB). Por lo cual, se entiende que, si se trabaja con alto porcentaje de quinua, daría lo mismo trabajar con un bajo o alto porcentaje de tarwi, ya que incrementa la viscosidad del yogurt. Entonces, la quinua y

la interacción de quinua y tarwi tiene un efecto en la viscosidad del yogurt batido

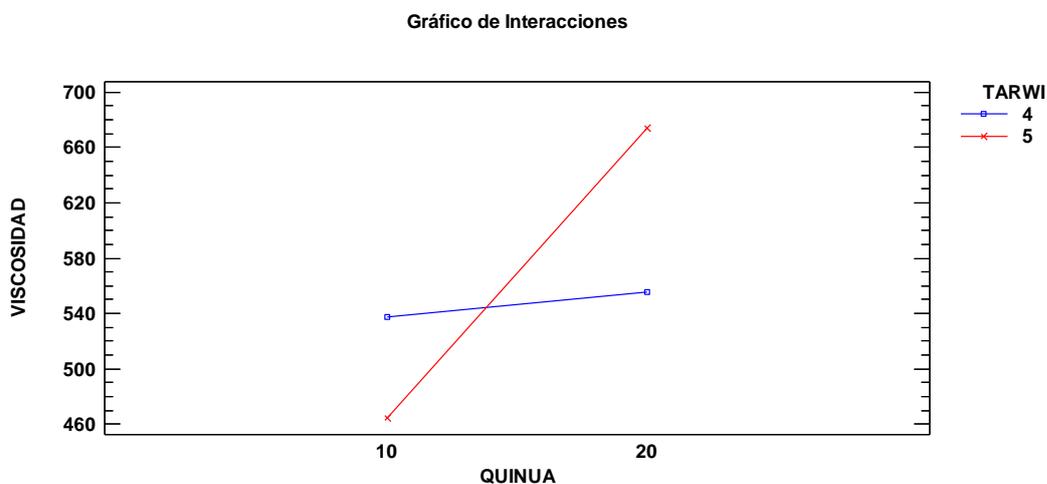


Figura N° 14: Interacciones para la viscosidad

#### 4.3.2. Selección del mejor tratamiento de yogurt

Para la obtención del mejor tratamiento del yogurt batido con sustitución parcial de quinua y tarwi, se determinó el sistema de puntuación utilizando los datos obtenidos a partir de panelistas no entrenados, los cuales evaluaron las características sensoriales (color, olor, sabor y consistencia) del yogurt batido que se encuentran en anexo N° 23, anexo N° 24, anexo N° 25 y anexo N° 26 respectivamente. A los mejores tratamientos que se muestra en la tabla N° 38, se determinó el índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) e índice de consistencia ( $k$ ).

Tabla N° 38: Valores sensoriales del yogurt batido

| Aspectos Sensoriales | Tratamientos |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | T1           | T2        | T3        | T4        | T5        | T6        | T7        | T8        |
| Color                | 8            | 8         | 8         | 8         | 8         | 7         | 8         | 8         |
| Olor                 | 12           | 12        | 11        | 14        | 12        | 13        | 11        | 11        |
| Sabor                | 14           | 15        | 14        | 14        | 14        | 12        | 12        | 15        |
| Consistencia         | 34           | 33        | 29        | 36        | 31        | 33        | 35        | 37        |
| <b>Total</b>         | <b>68</b>    | <b>67</b> | <b>62</b> | <b>72</b> | <b>66</b> | <b>65</b> | <b>65</b> | <b>72</b> |

En la tabla N° 38 se muestra la elección del mejor tratamiento multiplicado por un factor de conversión en el cual el que presentó mayores valores fueron los tratamientos T4 y T8.

### 4.3.3. Determinación de $n$ y $k$

#### a) Tratamiento 4

Los datos de la medición del yogurt batido para el tratamiento 4 se muestra en el Anexo 27. Para la obtención de los valores de  $n$  y  $k$  mediante la metodología Mitschka, se ha determinado el esfuerzo de corte que se muestra en la tabla N° 39.

Tabla N° 39: Esfuerzo de corte

| Velocidad (rpm) | Viscosidad promedio (cP) | Esfuerzo de corte (Pa) |
|-----------------|--------------------------|------------------------|
| 5               | 10165.633                | 10.673915              |
| 10              | 5630.233                 | 11.82349               |
| 20              | 3707.933                 | 15.57332               |
| 30              | 2977.167                 | 18.75615               |
| 40              | 2331.833                 | 19.5874                |
| 50              | 2007.033                 | 21.07385               |
| 60              | 1716.900                 | 21.63294               |
| 70              | 1506.333                 | 22.1431                |
| 80              | 1420.333                 | 23.8616                |
| 90              | 1273.433                 | 24.06789               |
| 100             | 1199.367                 | 25.1867                |

En la tabla N° 39 se muestra que el esfuerzo de corte incrementa de acuerdo a la velocidad de giro del usillo.

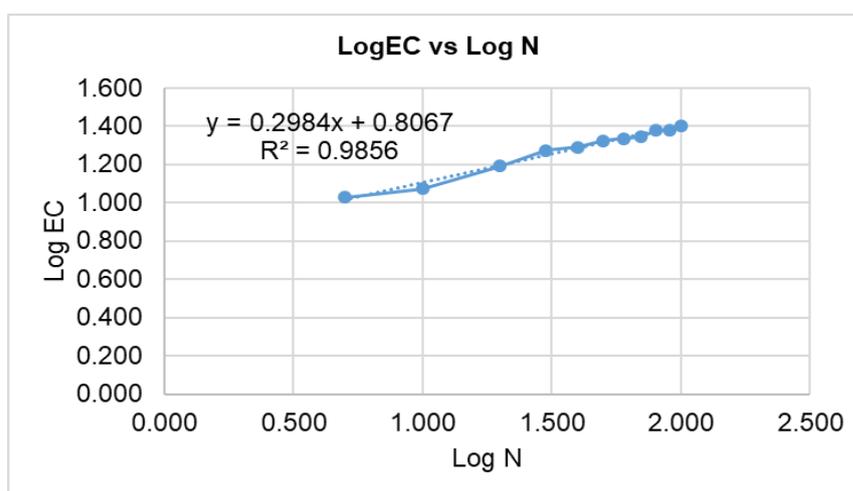


Figura N° 15: Gráfico de Log EC vs Log N

Con esfuerzo de corte y el valor de la velocidad de giro del usillo se determinó el valor de  $n$  mediante el siguiente gráfico de  $\log EC$  vs  $\log N$ , lo cual gráficamente se muestra en la figura N° 15.

Donde el valor de  $n=0.2984$  para el yogurt batido del tratamiento 4.

Una vez determinada el valor de  $n$  se determinó la relación de deformación. Lo cual realizado un gráfico de esfuerzo de corte vs la relación de deformación que se muestra en la figura N° 16 se ha obtenido el valor de  $k=7.1908$

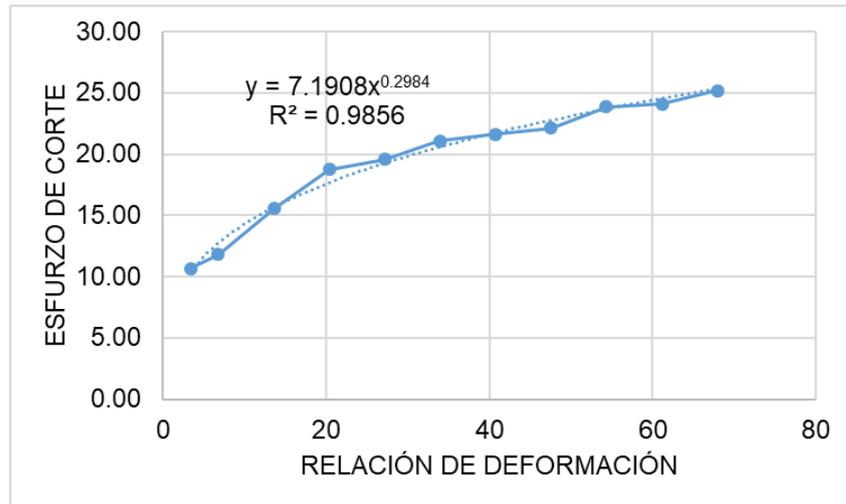


Figura N° 16: Gráfico de esfuerzo de corte vs relación de deformación

Después de determinar los valores de  $n$  y  $k$  se ha podido determinar los valores de la viscosidad aparente del yogurt batido de acuerdo a la velocidad de giro que se muestra en la tabla N° 40.

Tabla N° 40: Viscosidad aparente

| Velocidad (rpm) | Viscosidad aparente Pa.s |
|-----------------|--------------------------|
| 5               | 3142.2028                |
| 10              | 1740.3082                |
| 20              | 1146.1242                |
| 30              | 920.2438                 |
| 40              | 720.7710                 |
| 50              | 620.3751                 |
| 60              | 530.6947                 |
| 70              | 465.6085                 |
| 80              | 439.0258                 |
| 90              | 393.6189                 |
| 100             | 370.7249                 |

### b) Tratamiento 8

Los datos de la medición del yogurt batido para el tratamiento 8 se muestra en el Anexo 28.

Para la obtención de los valores de  $n$  y  $k$  mediante la metodología Mitschka, se ha determinado el esfuerzo de corte que se muestra en la tabla N° 41.

Tabla N° 41: Esfuerzo de corte

| Velocidad (rpm) | Viscosidad promedio (cP) | Esfuerzo de corte Pa |
|-----------------|--------------------------|----------------------|
| 10              | 7557.467                 | 15.871               |
| 20              | 4781.367                 | 20.082               |
| 30              | 3560.767                 | 22.433               |
| 40              | 3006.833                 | 25.257               |
| 50              | 2579.800                 | 27.088               |
| 60              | 2274.533                 | 28.659               |
| 70              | 2001.467                 | 29.422               |
| 80              | 1881.400                 | 31.608               |
| 90              | 1720.367                 | 32.515               |
| 100             | 1602.400                 | 33.650               |

En la tabla N° 41 se muestra que el esfuerzo de corte incrementa de acuerdo a la velocidad de giro del usillo.

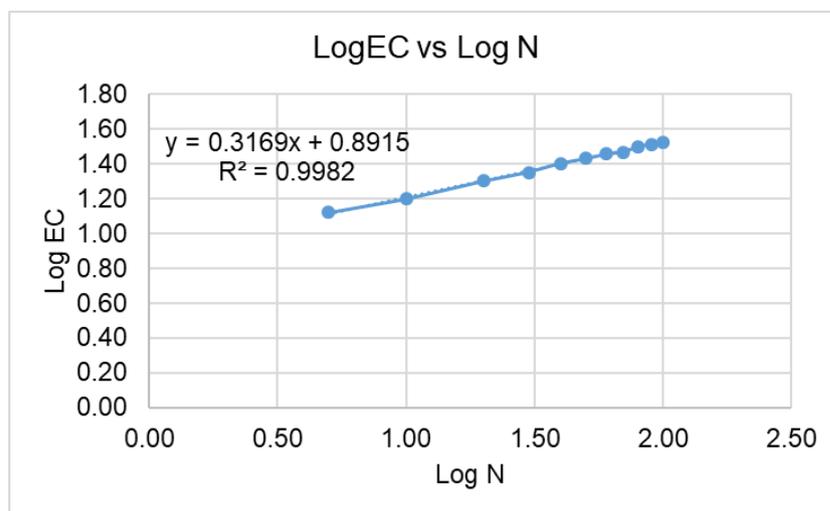


Figura N° 17: Log EC vs Log N

Con esfuerzo de corte y el valor de la velocidad de giro del usillo se determinó el valor de  $n$  mediante el siguiente gráfico de logEC vs Log N como se muestra en la figura N° 17.

Donde el valor de  $n=0.3169$  para el yogurt batido del tratamiento 8.

Una vez determinada el valor de  $n$  se determinó la relación de deformación. Lo cual realizado un gráfico de esfuerzo de corte vs la relación de deformación que se muestra en la figura N° 18 se ha obtenido el valor de  $k=8.9692$

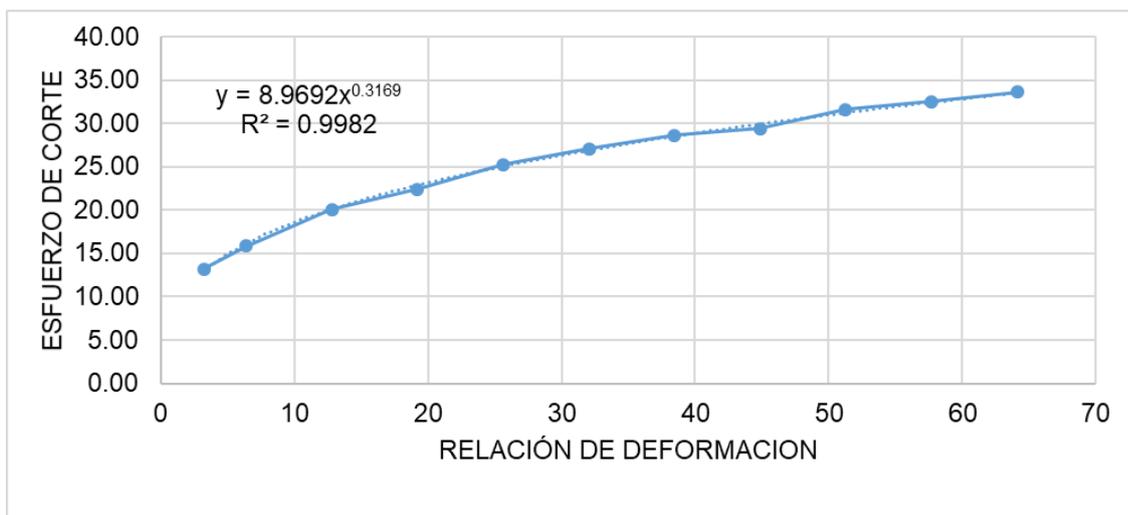


Figura N° 18: Esfuerzo de corte vs Relación de deformación

Después de determinar los valores de  $n$  y  $k$  se ha podido determinar los valores de la viscosidad aparente del yogurt batido de acuerdo a la velocidad de giro, donde los valores obtenidos se muestra en la tabla N° 42.

Tabla N° 42: Viscosidad aparente

| Velocidad (rpm) | Viscosidad aparente Pa.s |
|-----------------|--------------------------|
| 10              | 2476.21                  |
| 20              | 1566.62                  |
| 30              | 1166.69                  |
| 40              | 985.19                   |
| 50              | 845.27                   |
| 60              | 745.25                   |
| 70              | 655.78                   |
| 80              | 616.44                   |
| 90              | 563.68                   |
| 100             | 525.03                   |

Los valores de índice de comportamiento de flujo  $n$  para los tratamientos T4 y T8 fueron  $n=0.2984$  y  $n=0.3169$  respectivamente. Escobar (2015) obtuvo resultados del análisis reológico de todas las muestras de

yogurt, mostraron un valor de  $n < 1$ , con lo cual quedo demostrado su comportamiento no newtoniano y pseudoplastico. De igual forma, los valores de índice de comportamiento de flujo obtenidos son menores de 1 ( $n < 1$ ) lo cual indica que los yogures de quinua y tarwi son fluidos no newtonianos independientes del tiempo de la categoría pseudoplasticos.

#### 4.3.4. pH y acidez del yogurt batido

Para la obtención del pH y acidez de los mejores tratamientos del yogurt batido con sustitución parcial de quinua y tarwi, se realizó mediante la medición directa con el potenciómetro y la titulación respectivamente; el cálculo del porcentaje de acidez se realizó mediante la ecuación N° 16. Los valores de la acidez y pH se muestran en la siguiente tabla N° 43.

Tabla N° 43: pH y acidez del yogurt batido

| Tratamiento | pH    | Acidez titulable % |
|-------------|-------|--------------------|
| T4          | 4.431 | 0.588              |
| T8          | 4.585 | 0.558              |

El tiempo de fermentación del yogurt batido de quinua y tarwi fue de 3 horas logrando alcanzar un pH de 4.431 para el tratamiento T4 y el mismo tiempo para el T8 con un pH de 4.585. Pichihua (2016) en su trabajo “sustitución parcial de lactosuero y harina de quinua del yogurt sustituido” menciona que después de seis horas el yogurt optimo un pH, 4.25. Por otro lado, Zumaeta (2016) obtuvo variaciones del pH en la bebida láctea fermentada de tarwi. Los valores que obtenido fueron 4.65, 4.63 y finalmente el 4.56.

Para la acidez, en el tratamiento T4 se ha obtenido un valor de 0.588 % y para el tratamiento T8 se obtuvo una acidez de 0.558 %. Pichihua (2016) registro acidez de 0.19 % en el yogurt elaborado con harina de granos andinos. Por otro lado, Zumaeta (2016) menciona que el yogurt de tarwi por efecto del cultivo láctico alcanzo la acidez de 0.17 %.

## CONCLUSIONES

Del trabajo ejecutado concluimos lo siguiente:

1. Para obtener el extracto acuoso de quinua se tiene que se tiene que adicionar 130 mL de agua por cada 100 g de quinua el cual se expresa en la relación de quinua:agua en 1:1.3. Por otro lado, en la obtención del extracto acuoso de tarwi, la adición de agua es de 160 mL por cada 100 g de tarwi; expresado en la relación de tarwi:agua 1:1.6. Además, el extracto acuoso de tarwi para la sustitución parcial tiene que utilizarse solamente los sólidos sedimentados, para lo cual se elimina la parte líquida; mientras que el extracto acuoso de quinua, tiene que contener los sólidos sedimentados y la parte líquida.
2. Para sustituir parcialmente la leche por el extracto acuoso de quinua y tarwi, estas tienen que tener características similares a la leche para no generar cambios drásticos en sus características físicas durante la pasteurización. Los extractos acuosos de quinua y tarwi adecuados para realizar la sustitución parcial de la leche son 20 % de quinua, 5 % de tarwi, los cuales no alteran significativamente las características físicas de la leche en la pasteurización.
3. Mediante el sistema de puntuación se determinó que los mejores tratamientos son el T4 y T8. El tratamiento cuatro presentó valores de índice de comportamiento de flujo  $n=0.2984$  e índice de consistencia  $k=7.1908$ ; mientras que el tratamiento T8 se determinó valores de  $n=0.3169$  y  $k=8.9692$ . Confirmándose que el yogurt es un fluido no Newtoniano y pseudoplástico ya que presenta valores de índice de comportamiento de flujo menores a la unidad. Además, las características fisicoquímicas de los tratamientos con mejor puntuación presentaron valores de pH de 4.431 y 0.588 % de acidez para el tratamiento T4 y el T8 pH de 4.585 y 0.558 % de acidez.
4. El extracto acuoso de quinua tiene un efecto significativo sobre la viscosidad del yogurt; mientras que el extracto acuoso de tarwi no presenta efecto significativo en la viscosidad del yogurt batido. Mientras que la sustitución parcial de la leche por los extractos acuosos de quinua y tarwi tiene un efecto sobre las características reológicas del yogurt batido, ya que la interacción de estos dos factores presenta valor- $p < 0.05$ .

## RECOMENDACIONES

Del presente trabajo de investigación, se recomienda:

- Realizar el estudio de análisis sensorial con personas entrenadas que sean capaces de poder percibir las características organolépticas del tarwi y quinua en el yogurt batido, de esta manera realizar el estudio estadístico de la evaluación sensorial con un menor porcentaje de error. Además, poder generar las diferencias significativas de un tratamiento, frente al otro.
- Realizar el estudio de la sustitución parcial de la leche por extracto acuso de quinua de una variedad diferente a lo que se usó en el presente estudio y comparar las viscosidades, índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia.
- Realizar un estudio del impacto comercial y su grado de aceptación del yogurt batido de quinua y tarwi frente a los demás yogures comerciales ofrecidos por el mercado.
- Realizar un estudio de comparación de metodologías de determinación de las características reológicas en el yogurt batido con sustitución parcial de quinua y tarwi.

## **SUGERENCIAS**

Del presente trabajo de investigación, se sugiere lo siguiente:

- Realizar el estudio del contenido nutricional y proximal de la mezcla de los extractos acuosos de quinua y tarwi.
- Realizar el estudio del contenido nutricional y proximal del yogurt batido con sustitución parcial de la leche por extractos acuosos de quinua y tarwi.
- Realizar un balance nutricional y proximal del yogurt batido con sustitución parcial de la leche por extractos acuosos de quinua y tarwi.
- Con el estudio nutricional realizado al yogurt batido con sustitución parcial de la leche con extractos acuosos de quinua y tarwi buscar un mercado para su comercialización.
- Para la elaboración de yogurt batido con sustitución parcial de la leche por extracto acuoso de quinua y tarwi utilizar una variedad definida, ya contenido de sólidos que se precipita es diferente para cada variedad de quinua y de tarwi. Además, la cantidad de amilosa y amilopectina varía de acuerdo a la variedad de quinua

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Codex Alimentarius (2018). Norma general para los aditivos alimentarios. CODEX STAN 192-1995.
- Andrés, O. N. (2015). *Leche de altramuz. (Tesis de pregrado)*; Universidad de Fasta, Buenos Aires, Argentina.
- AOAC. (2003). *Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína*. Washington, U.S.A: Chapter 32.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de las variedades comerciales en el Perú*. Quinoa 2013 año internacional, 54-57.
- Arenas, S. C., Zapata, F. R., & Gutierrez, C. C. (2012). *Evaluación de la fermentación láctica de la leche con adición de quinoa (**Chenopodium quinoa**)*. Vitae, 276-218.
- Atarés, L. H. (2010). *Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro*. Universidad Politécnica de Valencia: Departamento de Tecnología de Alimentos.
- Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos, Cuarta edición*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Bianchi, F. (2013). *Desenvolvimento e avaliação em simulador do ecossistema microbiano humano de uma bebida simbiótica à base de extratos aquosos de quinoa (**Chenopodium quinoa willd**) e de soja*. (Tesis de posgrado) Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara.
- Borja, L. J. (2014). *Obtención de péptidos bioactivos de **Lupinus mutabilis** ("tarwi") mediante proteasas de Bacillus sp. (Tesis de pregrado)*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de farmacia y bioquímica, E.A.P. de farmacia y bioquímica, Lima, Perú.
- Bruin, A. (1964). *Investigation of the food value of quinoa and cañihua seed*. J. Food Sci, 872-876.
- Castañeda, C. B., Manrique, M. R., Gamarra, C. F., Muñoz, J. A., Ramos, E. F., Lizaraso, C. F., & Martinez, H. J. (2008). *Probiótico elaborado en base a*

las semillas de **Lupinus mutabilis sweet** (Chocho o tarwi). Acta Med Per 25(4), 210-215.

Castillo, M., Borregales, C., & Sánchez, M. D. (2004). *Influencia de la pectina sobre las propiedades reológicas del yogur*. Revista de la facultad de farmacia Vol. 46 (2), 33-37.

Colque, C. E. (2016). *Determinación de parámetros para la elaboración de bebida probiótica de tarwi (**Lupinus mutabilis Sweet**) empleando Saccharomyces boulardii*. Juliaca - Perú: Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos.

Cordero, B. G. (2013). *Aplicación del análisis sensorial de los alimentos en la cocina y en la industria alimentaria*. ResearchGate, 9-89.

Cuello, G. R., Mendoza, P. J., & Suarez, U. N. (2014). *Efecto de la Microencapsulación sobre las Propiedades Reológicas y Fisicoquímicas del Yogurt Blando*. Información Tecnológica, Vol. 25(6), 45-56.

D. Andrade, R., R. Arteaga, M., & M. Simanca, M. (2010). *Efecto del salvado de trigo en el comportamiento reológico del yogurt de leche de búfala*. doi:10.1612/inf.tecnol.42771it.09

Enriquez, C. D., Sánchez, G. J., & Castro, S. P. (2012). *Efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera y tipo de cultivo comercial en las características reológicas del yogurt natural tipo batido*. Agroindustrial Science, 173-180.

Escobar, C. N. (2015). *Evaluación y optimización del proceso de elaboración de una bebida fermentada a base de soja (Glycine max L.)*. (Tesis pregrado) Universidad Jose Carlos Mariategui, Facultad de ingeniería.

FAO. (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina regional para América Latina y el Caribe, 1-49.

Ganoza Rivas , C. C., & Rodríguez Zevallos, A. R. (2008). *Efecto del extracto de yacón (**Smallanthus sonchifolius**) y la suspensión de quinua (**Chenopodium quinoa**) sobre la viscosidad y la aceptabilidad general de una bebida funcional a base de yogurt*. Pueblo cont. 19(2), 221-228.

- Geankoplis, C. J. (2009). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*. Mexico: PATRIA.
- Gutiérrez, P. H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernandez, A. E. (2005). *Evaluación sensorial*. Universidad nacional abierta y a distancia – UNAD, 1-128.
- Huaraca, P. R. (29 de Diciembre de 2012). *Quinoa (**Chenopodium quinoa**)*. Obtenido de <http://fundamentosdemarketing-quinoa.blogspot.pe/2012/05/taxonomia.html>
- IV Congreso mundial de la quinoa. (5 de Julio de 2007). *Todo sobre quinoa*. Obtenido de <http://laquinoa.blogspot.pe/2007/07/posicin-taxonomica-de-la-quinoa.html>
- Jacobsen, S.-E., & Mujica, A. (2006). *El tarwi (**Lupinus mutabilis Sweet**) y sus parientes silvestres*. Botánica Económica de los Andes Centrales, 458-482.
- Jimenez, R. E., & Martinez, D. L. (2016). *Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (manihot esculentum) variedad guayape*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Pedro Ruiz Callo .
- Jordan, O. (2011). *Caracterización reológica de un fluido empleando el viscosímetro fungilab*. Universidad nacional san luis gonzaga - Especialidad de Ingeniería de Alimentos: Reología de los alimentos.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades Físicas de los Alimentos y de los sistemas de procesado*. Zaragoza - España: Editorial Acribia S.A.
- Llorente, J. R. (septiembre de 2008). *Quinoa: Un auténtico superalimento*. Obtenido de [Discovery DSalud: http://www.dsalud.com/index.php?pagina=articulo&c=218](http://www.dsalud.com/index.php?pagina=articulo&c=218)
- Maldonado, J. R., & Carrillo, H. P. (2014). *Desarrollo de una bebida fermentada a base de quinoa (**Chenopodium quinoa**)*. (Tesis de pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

- Martínez, I. R. (2002). *Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad*. Valdivia - Chile: Tesis para optar el grado de licenciado en ingeniería en alimentos .
- Mathias, T. R., Junior, I. C., De Carvalho, C. W., & Sérvulo, E. F. (2011). *Rheological characterization of coffee- flavored yogurt with different types of thickener*. Alim. Nutr., Araraquara, 521-529.
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Marathee, J. (2001). *Origen y descripción de la quinua*. Obtenido de Cultivos Andinos FAO- Versión 1.0: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap1.htm#5>
- Navarrete, P. M. (2010). *Extracción, refinación, y caracterización fisico-química y nutracéutica del aceite de chocho (Lupinus matabilis sweet)*. (tesis de pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia, Riobamba, Ecuador.
- Negri, L. M. (2005). *El pH y la acidez de la leche* . Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad, 155-161.
- Negri, L. M. (2005). *Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad. 2da Edición, El pH y la acidez de la leche*. Argentina - Santa Fe: INTA.
- Ojeda, O. Á. (2010). *Elaboración de yogurt a base de leche enriquecido con quinua*. (tesis de pregrado) Universidad Las Americas, Quito, Ecuador.
- Ortega, D. E., Rodríguez, A., Arturo, D., & Zamora, B. Á. (2010). *Caracterización de las semillas de Lupino (Lupinus mutabilis) sembrado en los Andes de Colombia*. Grupo de Investigación GIPAB y ASINDETEC, 1-12.
- Pereira, O. S. (2010). *Elaboración de leche de quinua (Chenopodium quinoa, Willd)*. Quito: QUITO/EPN/2010.
- Pichihua, R. L. (2016). *Influencia de la sustitución parcial de lactosuero y harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en las propiedades organolépticas y fisicoquímicas del yogur sustituido*. (Tesis de pregrado); Universidad Nacional Jose María Arguedas; Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Andahuaylas, Perú.

- Ramirez, N. J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. ReCiTelA, Cali, Colombia, 1-46.
- Ramirez, R. D. (2010). *Elaboración de yogurt*. Lima: MACRO.
- Ramirez, S. M., & Vélez, R. J. (2009). *Efecto de la incorporación de estabilizantes en la viscosidad de bebidas lácteas no fermentadas*. Mexico: Temas seleccionados de ingeniería de alimentos.
- Rivera, C. L., & Soto, N. G. (2015). *Aceptabilidad y apoyo nutricional de la bebida de yogurt de tarwi (**Lupinus mutabilis** L.), piña (*Ananas comosus*) y cultivos lácticos, en niños con bajo peso para la talla en el aa.hh Fujimori-Huaura*. (tesis de pregrado), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Segovia, G., Villares, E., & Paredes, M. (2007). *Cambios reológicos durante el proceso de elaboración de yogurt de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet)*. *Alimentos Ciencia e Ingeniería* Vol. 16(1), 123-126.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. USA: Freeman Press.
- Supo, J. (2013). *Las variables analíticas*. Obtenido de Bioestadístico sitio web: <http://seminariosdeinvestigacion.com/las-variables-analiticas/>
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1991). *Yogur Ciencia y tecnología*. Zaragoza - España: ACRIBIA S.A.
- Vera Balcázar, M. E. (2011). *Elaboración y aplicación gastronómica del yogurt*. Argentina: Universidad de la Cuenca; Tesis de pregrado.
- Vera, B. R., & Rodríguez, Z. A. (2013). *Efecto de la adición de caseinato de sodio y gelatina sobre la viscosidad, sinéresis y tiempo de fermentación en yogurt batido*. *Pueblo Cont.* Vol. 24 N°1, 133-140.
- Zumaeta, V. L. (2016). *Influencia del cultivo láctico sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una bebida fermentada de tarwi (**Lupinus mutabilis**)*. Tujillo: tesis para obtener el título de ingeniera en industrias alimentarias.

## ANEXOS

### Anexo N° 1: ANOVA de sedimentación de extracto acuosos de quinua

#### RESUMEN

| <i>Relación de quinua:agua</i> | <i>Cuenta</i> | <i>Suma</i> | <i>Promedio</i> | <i>Varianza</i> |
|--------------------------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1:1                            | 3             | 21.7000     | 7.2333          | 0.0233          |
| 1:1.1                          | 3             | 21.0000     | 7.0000          | 0.0400          |
| 1:1.2                          | 3             | 19.2000     | 6.4000          | 0.0400          |
| 1:1.3                          | 3             | 15.8000     | 5.2667          | 0.0133          |
| 1:1.4                          | 3             | 16.6000     | 5.5333          | 0.0133          |
| 1:1.5                          | 3             | 20.0000     | 6.6667          | 0.0133          |

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

| <i>Origen de las variaciones</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------|
| Entre grupos                     | 943.8333                 | 5                         | 188.7667                         | 79.02    | 9.25725E-09         | 3.1059                      |
| Dentro de los grupos             | 28.6667                  | 12                        | 2.3889                           |          |                     |                             |
| Total                            | 972.5                    | 17                        |                                  |          |                     |                             |

### Anexo N° 2: Pruebas de Rango múltiples para sedimentación quinua:agua

| <i>Tratamiento</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| T1EAQ - T2EAQ      |             | 2.33333           | 4.23946            |
| T1EAQ - T3EAQ      | *           | 8.33333           | 4.23946            |
| T1EAQ - T4EAQ      | *           | 19.6667           | 4.23946            |
| T1EAQ - T5EAQ      | *           | 17.0              | 4.23946            |
| T1EAQ - T6EAQ      | *           | 5.66667           | 4.23946            |
| T2EAQ - T3EAQ      | *           | 6.0               | 4.23946            |
| T2EAQ - T4EAQ      | *           | 17.3333           | 4.23946            |
| T2EAQ - T5EAQ      | *           | 14.6667           | 4.23946            |
| T2EAQ - T6EAQ      |             | 3.33333           | 4.23946            |
| T3EAQ - T4EAQ      | *           | 11.3333           | 4.23946            |
| T3EAQ - T5EAQ      | *           | 8.66667           | 4.23946            |
| T3EAQ - T6EAQ      |             | -2.66667          | 4.23946            |
| T4EAQ - T5EAQ      |             | -2.66667          | 4.23946            |
| T4EAQ - T6EAQ      | *           | -14.0             | 4.23946            |
| T5EAQ - T6EAQ      | *           | -11.3333          | 4.23946            |

Anexo N° 3: Datos de densidad del extracto acuoso de quinua

| SIN SEDIMENTAR |             |                     |                              |                                 |             |                   |
|----------------|-------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------|
| Quinua:agua    | Tratamiento | Peso del picnómetro | Peso del picnómetro más agua | Peso del picnómetro más muestra | Temperatura | Densidad          |
| g:mL           | numérico    | g                   | g                            | g                               | °C          | kg/m <sup>3</sup> |
| 1:1            | T1EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.899                          | 20          | 1090.5563         |
| 1:1            |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.9152                         | 20          | 1091.2107         |
| 1:1            |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.9301                         | 20          | 1091.8127         |
| 1:1.1          | T2EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.816                          | 20.05       | 1087.2034         |
| 1:1.1          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.7906                         | 20.05       | 1086.1773         |
| 1:1.1          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.8339                         | 20.05       | 1087.9265         |
| 1:1.2          | T3EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.6182                         | 20.05       | 1079.2129         |
| 1:1.2          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.6198                         | 20          | 1079.2775         |
| 1:1.2          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.6051                         | 20.05       | 1078.6837         |
| 1:1.3          | T4EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.4561                         | 20.05       | 1072.6646         |
| 1:1.3          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.4556                         | 20.05       | 1072.6444         |
| 1:1.3          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.4567                         | 20.05       | 1072.6888         |
| 1:1.4          | T5EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.4024                         | 21          | 1070.4953         |
| 1:1.4          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.4062                         | 20          | 1070.6488         |
| 1:1.4          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.4069                         | 20.05       | 1070.6770         |
| 1:1.5          | T6EAQ       | 29.9029             | 54.615                       | 56.5795                         | 20          | 1077.6495         |
| 1:1.5          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.575                          | 20          | 1077.4677         |
| 1:1.5          |             | 29.9029             | 54.615                       | 56.5757                         | 20.05       | 1077.4960         |

Anexo N° 4: ANOVA de sedimentación del extracto acuoso de tarwi

RESUMEN

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|--------|--------|------|----------|----------|
| 1:1    | 3      | 188  | 62.6667  | 0.3333   |
| 1:1.2  | 3      | 195  | 65.0000  | 0.0000   |
| 1:1.4  | 3      | 193  | 64.3333  | 0.3333   |
| 1:1.6  | 3      | 185  | 61.6667  | 0.3333   |
| 1:1.8  | 3      | 139  | 46.3333  | 0.3333   |
| 1:2    | 3      | 124  | 41.3333  | 0.3333   |

ANÁLISIS DE VARIANZA

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F       | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------|--------------|----------------------|
| Entre grupos              | 1592.444          | 5                  | 318.4889                  | 1146.56 | 1.2148E-15   | 3.10587524           |
| Dentro de los grupos      | 3.333             | 12                 | 0.2778                    |         |              |                      |
| Total                     | 1595.7778         | 17                 |                           |         |              |                      |

Anexo N° 5: Pruebas de Rango múltiples para la sedimentación de tarwi:agua

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 1 - 2     | *    | -2.33333   | 1.44564     |
| 1 - 3     | *    | -1.66667   | 1.44564     |
| 1 - 4     |      | 1.0        | 1.44564     |
| 1 - 5     | *    | 16.33333   | 1.44564     |
| 1 - 6     | *    | 21.33333   | 1.44564     |
| 2 - 3     |      | 0.666667   | 1.44564     |
| 2 - 4     | *    | 3.33333    | 1.44564     |
| 2 - 5     | *    | 18.6667    | 1.44564     |
| 2 - 6     | *    | 23.6667    | 1.44564     |
| 3 - 4     | *    | 2.66667    | 1.44564     |
| 3 - 5     | *    | 18.0       | 1.44564     |
| 3 - 6     | *    | 23.0       | 1.44564     |
| 4 - 5     | *    | 15.33333   | 1.44564     |
| 4 - 6     | *    | 20.33333   | 1.44564     |
| 5 - 6     | *    | 5.0        | 1.44564     |

Anexo N° 6: Datos de densidad de extracto acuoso de tarwi sedimentado

| SEDIMENTADO |             |                     |                              |                                 |             |                   |
|-------------|-------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------|
| Tarwi:agua  | Tratamiento | Peso del picnómetro | Peso del picnómetro más agua | Peso del picnómetro más muestra | Temperatura | Densidad          |
| g:mL        | numérico    | g                   | g                            | g                               | °C          | kg/m <sup>3</sup> |
| 1;1         | T1EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.9344                         | 20.05       | 1011.193          |
| 1;1         |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9269                         | 20.05       | 1010.890          |
| 1;1         |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9246                         | 20          | 1010.797          |
| 1;1.2       | T2EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.9317                         | 20          | 1011.084          |
| 1;1.2       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.935                          | 20          | 1011.217          |
| 1;1.2       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9293                         | 20          | 1010.987          |
| 1;1.4       | T3EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.9143                         | 20          | 1010.381          |
| 1;1.4       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9167                         | 20          | 1010.478          |
| 1;1.4       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9082                         | 20.05       | 1010.134          |
| 1;1.6       | T4EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.9037                         | 20.05       | 1009.953          |
| 1;1.6       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.8982                         | 20.05       | 1009.730          |
| 1;1.6       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9028                         | 20          | 1009.916          |
| 1;1.8       | T5EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.9075                         | 20.05       | 1010.106          |
| 1;1.8       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9009                         | 20.05       | 1009.839          |
| 1;1.8       |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.8982                         | 20          | 1009.730          |
| 1;2         | T6EAT       | 29.9029             | 54.615                       | 54.8705                         | 20          | 1008.611          |
| 1;2         |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.8973                         | 20          | 1009.694          |
| 1;2         |             | 29.9029             | 54.615                       | 54.9008                         | 20          | 1009.835          |

Anexo N° 7: ANOVA de la mezcla a 50 rpm

RESUMEN

| Grupos         | Cuenta | Suma      | Promedio  | Varianza   |
|----------------|--------|-----------|-----------|------------|
| 10 % Q y 4 % T | 3      | 178.4141  | 59.4714   | 18.2207    |
| 20 % Q y 5 % T | 3      | 921.4508  | 307.1503  | 624.3437   |
| 30 % Q y 6 % T | 3      | 3237.3659 | 1079.1220 | 21194.8279 |
| 40 % Q y 7 % T | 3      | 1277.5913 | 425.8638  | 2508.9614  |

### ANÁLISIS DE VARIANZA

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F          | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|------------|--------------|----------------------|
| Entre grupos              | 1704041.27        | 3                  | 568013.758                | 93.3221895 | 1.4495E-06   | 4.06618055           |
| Dentro de los grupos      | 48692.7074        | 8                  | 6086.58843                |            |              |                      |
| Total                     | 1752733.98        | 11                 |                           |            |              |                      |

Anexo N° 8: Pruebas de Rango múltiples para viscosidad aparente a 50 rpm

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 1 - 2     | *    | -247.679   | 203.918     |
| 1 - 3     | *    | -1019.65   | 203.918     |
| 1 - 4     | *    | -366.392   | 203.918     |
| 2 - 3     | *    | -771.972   | 203.918     |
| 2 - 4     |      | -118.713   | 203.918     |
| 3 - 4     | *    | 653.258    | 203.918     |

Anexo N° 9: ANOVA de la mezcla extracto acuoso a 100 rpm

### RESUMEN

| Grupos         | Cuenta | Suma       | Promedio   | Varianza   |
|----------------|--------|------------|------------|------------|
| 10 % Q y 4 % T | 3      | 166.990662 | 55.6635541 | 57.2483048 |
| 20 % Q y 5 % T | 3      | 609.583865 | 203.194622 | 512.651718 |
| 30 % Q y 6 % T | 3      | 2068.32717 | 689.442391 | 14286.0232 |
| 40 % Q y 7 % T | 3      | 801.652599 | 267.217533 | 1494.68291 |

### ANÁLISIS DE VARIANZA

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F     | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Entre grupos              | 665254.33         | 3                  | 221751.44                 | 54.25 | 1.163E-05    | 4.066E+00            |
| Dentro de los grupos      | 32701.2123        | 8                  | 4087.65                   |       |              |                      |
| Total                     | 697955.542        | 11                 |                           |       |              |                      |

Anexo N° 10: Pruebas de Rango múltiples para viscosidad a 100 rpm

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 1 - 2     |      | -147.532   | 167.112     |
| 1 - 3     | *    | -633.779   | 167.112     |
| 1 - 4     | *    | -211.554   | 167.112     |
| 2 - 3     | *    | -486.247   | 167.112     |
| 2 - 4     |      | -64.0227   | 167.112     |
| 3 - 4     | *    | 422.225    | 167.112     |

Anexo N° 11: Tratamientos para el yogurt

| Tratamiento | Quinoa<br>% | Tarwi<br>% | Leche<br>% |
|-------------|-------------|------------|------------|
| T1          | 10          | 4          | 76         |
| T2          | 20          | 4          | 76         |
| T3          | 10          | 5          | 76         |
| T4          | 20          | 5          | 76         |
| T5          | 10          | 4          | 85         |
| T6          | 20          | 4          | 85         |
| T7          | 10          | 5          | 85         |
| T8          | 20          | 5          | 85         |

Anexo N° 12: Viscosidad aparente del Tratamiento 1

| Velocidad<br>(rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                    | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10                 | 248.242             | 252.514             | 250.019             |
| 20                 | 123.080             | 127.967             | 123.430             |
| 30                 | 134.846             | 139.675             | 135.330             |
| 40                 | 203.988             | 208.477             | 205.260             |
| 50                 | 137.970             | 142.784             | 143.756             |
| 60                 | 133.597             | 136.256             | 137.121             |
| 70                 | 114.021             | 116.776             | 117.322             |
| 80                 | 154.631             | 159.363             | 157.447             |
| 90                 | 146.405             | 153.146             | 151.128             |
| 100                | 150.570             | 157.290             | 155.340             |

Anexo N° 13: Viscosidad aparente del Tratamiento 2

| Velocidad<br>(rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                    | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10                 | 2471.980            | 2358.997            | 1916.522            |
| 20                 | 1517.548            | 1405.311            | 1121.139            |
| 30                 | 1140.734            | 1028.792            | 807.119             |
| 40                 | 956.691             | 844.892             | 653.745             |
| 50                 | 959.905             | 859.576             | 649.918             |
| 60                 | 776.895             | 676.709             | 497.405             |
| 70                 | 787.764             | 687.569             | 506.463             |
| 80                 | 727.334             | 627.187             | 456.104             |
| 90                 | 657.452             | 557.359             | 397.867             |
| 100                | 619.679             | 519.616             | 366.388             |

Anexo N° 14: Viscosidad aparente del Tratamiento 3

| Velocidad<br>(rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                    | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10                 | 382.163             | 391.134             | 386.848             |
| 20                 | 184.917             | 194.001             | 189.584             |
| 30                 | 152.077             | 161.180             | 156.740             |
| 40                 | 127.219             | 136.336             | 131.880             |
| 50                 | 67.096              | 76.247              | 71.751              |
| 60                 | 46.785              | 52.919              | 48.407              |
| 70                 | 42.642              | 48.778              | 44.263              |
| 80                 | 60.831              | 66.956              | 62.454              |
| 90                 | 49.109              | 55.241              | 50.731              |
| 100                | 43.147              | 49.283              | 44.768              |

Anexo N° 15: Viscosidad aparente del Tratamiento 4

| Velocidad (rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                 | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10              | 1998.772            | 1916.218            | 1809.602            |
| 20              | 1355.124            | 1073.881            | 1362.768            |
| 30              | 1024.535            | 980.088             | 1032.581            |
| 40              | 736.787             | 768.941             | 883.511             |
| 50              | 638.902             | 667.512             | 748.422             |
| 60              | 541.791             | 574.699             | 641.521             |
| 70              | 485.101             | 487.727             | 570.453             |
| 80              | 456.658             | 468.505             | 528.847             |
| 90              | 425.504             | 407.021             | 470.449             |
| 100             | 400.161             | 386.625             | 440.012             |

Anexo N° 16: Viscosidad aparente del Tratamiento 5

| Velocidad (rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                 | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10              | 1000.613            | 1007.471            | 1002.477            |
| 20              | 844.318             | 850.949             | 846.203             |
| 30              | 834.633             | 841.250             | 836.519             |
| 40              | 815.484             | 822.073             | 817.373             |
| 50              | 745.396             | 751.883             | 747.293             |
| 60              | 638.784             | 645.116             | 640.695             |
| 70              | 603.370             | 609.651             | 605.286             |
| 80              | 598.342             | 604.616             | 600.259             |
| 90              | 568.473             | 574.704             | 570.394             |
| 100             | 550.803             | 557.008             | 552.726             |

Anexo N° 17: Viscosidad aparente del Tratamiento 6

| Velocidad (rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                 | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10              | 1176.008            | 1194.748            | 1170.030            |
| 20              | 595.385             | 605.655             | 592.488             |
| 30              | 452.438             | 460.623             | 450.299             |
| 40              | 359.100             | 365.924             | 357.457             |
| 50              | 294.621             | 300.504             | 293.319             |
| 60              | 250.149             | 255.384             | 249.084             |
| 70              | 215.287             | 220.013             | 214.406             |
| 80              | 192.881             | 197.280             | 192.119             |
| 90              | 175.287             | 179.430             | 174.619             |
| 100             | 158.869             | 162.772             | 158.288             |

Anexo N° 18: Viscosidad aparente del Tratamiento 7

| Velocidad (rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                 | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10              | 580.364             | 590.714             | 583.881             |
| 20              | 338.387             | 347.836             | 341.643             |
| 30              | 330.095             | 339.514             | 333.562             |
| 40              | 302.521             | 311.837             | 307.347             |
| 50              | 277.909             | 280.528             | 274.891             |
| 60              | 216.970             | 225.968             | 220.623             |
| 70              | 245.794             | 247.634             | 244.143             |
| 80              | 258.824             | 267.978             | 262.408             |
| 90              | 245.531             | 254.635             | 249.137             |
| 100             | 229.079             | 237.461             | 232.055             |

Anexo N° 19: Viscosidad aparente del Tratamiento 8

| Velocidad (rpm) | Repetición 1        | Repetición 2        | Repetición 3        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente | Viscosidad Aparente |
|                 | Pa.s                | Pa.s                | Pa.s                |
| 10              | 2533.414            | 2562.523            | 2529.256            |
| 20              | 1709.150            | 1559.049            | 1563.056            |
| 30              | 1264.430            | 1196.906            | 1136.874            |
| 40              | 1075.364            | 985.617             | 977.412             |
| 50              | 919.168             | 843.225             | 844.133             |
| 60              | 811.554             | 756.437             | 730.556             |
| 70              | 712.555             | 667.417             | 642.546             |
| 80              | 668.916             | 624.606             | 607.517             |
| 90              | 606.741             | 571.301             | 559.882             |
| 100             | 569.175             | 534.153             | 515.812             |

Anexo N° 20: ANOVA multifactorial del análisis de covarianza

| <i>Fuente</i>       | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| COVARIABLES         |                          |           |                       |                |                |
| RPM                 | 1.32E+07                 | 1         | 1.32E+07              | 109.78         | <0.0001        |
| LECHE               | 1.29E+07                 | 1         | 1.29E+07              | 106.91         | <0.0001        |
| EFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:QUINUA            | 779307                   | 1         | 779307                | 6.46           | 0.0117         |
| B:TARWI             | 30266.6                  | 1         | 30266.6               | 0.25           | 0.6168         |
| INTERACCIONES       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 553305                   | 1         | 553305                | 4.59           | 0.0332         |
| RESIDUOS            | 2.82E+07                 | 234       | 120584                |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)   | 5.57E+07                 | 239       |                       |                |                |

## Anexo N° 21: Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial se ha tenido en consideración lo siguiente:

**Primero:** Codificar cada tratamiento de yogurt y colocarlos en vasos transparentes la cantidad de 30 ml.

**Segundo:** Cada muestra se colocó en cabinas individuales de 80 x 60 cm, el cual, permitió al panelista evaluar de manera individual.

**Tercero:** Para la evaluación del sabor, se le exigió al panelista que después de evaluar esta característica sensorial tomara agua abundante para que pueda pasar al siguiente tratamiento.

**Cuarto:** La plantilla que se utilizó se presenta en el Anexo N° 22.

**Cuarto:** La cantidad de panelistas fue de 30, los cuales evaluaron la totalidad de los tratamientos en 3 días, a los cuales se le entregó los tratamientos al azar.

Anexo N° 22: Plantillas para la evaluación sensorial

**YOGURT CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE QUINUA Y TARWI**

Nombre y Apellido: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_ de octubre del 2017

A continuación, se presentan los productos por tratamientos.

Se presenta a Ud. Muestras de yogurt a base de leche, quinua y tarwi. Se le pide evaluar y asignar el valor que considere tras probar las muestras. Pruebe las muestras de izquierda a derecha, puede volver a probar la misma muestra si en caso lo requiera.

**Cuadro de escala hedónica para cada atributo**

| COLOR                            |     | OLOR   |     | SABOR                                       |     | CONSISTENCIA       |     |
|----------------------------------|-----|--|-----|---|-----|--------------------|-----|
| Escala hedónica                  | Pts | Escala hedónica                                  | Pts | Escala hedónica                             | Pts | Escala hedónica    | Pts |
| Muy Agradable                    | 1   | Intenso a quinua                                 | 1   | Sabe a quinua                               | 1   | Muy espeso         | 1   |
| Agradable                        | 2   | Se siente ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2   | Sabe ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2   | Espeso             | 2   |
| No es agradable, ni desagradable | 3   | No se siente ni a quinua ni a tarwi              | 3   | No sabe ni a quinua ni a tarwi              | 3   | Ligeramente espeso | 3   |
| Desagradable                     | 4   | Se siente ligeramente el tarwi y menos la quinua | 4   | Sabe ligeramente el tarwi menos la quinua   | 4   | Aguado             | 4   |
| Muy desagradable                 | 5   | Intenso a tarwi                                  | 5   | Sabe a tarwi                                | 5   | Muy aguado         | 5   |

**Cuadro de apreciación de los atributos**

| COLOR       |     | OLOR        |     | SABOR       |     | CONSISTENCIA |     |
|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|
| Tratamiento | Pts | Tratamiento | Pts | Tratamiento | Pts | Tratamiento  | Pts |
| T 1         |     | T 1         |     | T 1         |     | T 1          |     |
| T 2         |     | T 2         |     | T 2         |     | T 2          |     |
| T 3         |     | T 3         |     | T 3         |     | T 3          |     |
| T 4         |     | T 4         |     | T 4         |     | T 4          |     |

Observación o comentarios: .....

Muchas gracias

Bach. Yuber Taipe Flores

### YOGURT CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE QUINUA Y TARWI

Nombre y Apellido: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_ de octubre del 2017

A continuación, se presentan los productos por tratamientos.

Se presenta a Ud. Muestras de yogurt a base de leche, quinua y tarwi. Se le pide evaluar y asignar el valor que considere tras probar las muestras. Pruebe las muestras de izquierda a derecha, puede volver a probar la misma muestra si en caso lo requiera.

#### Cuadro de escala hedónica para cada atributo

| COLOR                            |     | OLOR   |     | SABOR                                       |     | CONSISTENCIA       |     |
|----------------------------------|-----|--|-----|---|-----|--------------------|-----|
| Escala hedónica                  | Pts | Escala hedónica                                  | Pts | Escala hedónica                             | Pts | Escala hedónica    | Pts |
| Muy Agradable                    | 1   | Intenso a quinua                                 | 1   | Sabe a quinua                               | 1   | Muy espeso         | 1   |
| Agradable                        | 2   | Se siente ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2   | Sabe ligeramente la quinua y menos el tarwi | 2   | Espeso             | 2   |
| No es agradable, ni desagradable | 3   | No se siente ni a quinua ni a tarwi              | 3   | No sabe ni a quinua ni a tarwi              | 3   | Ligeramente espeso | 3   |
| Desagradable                     | 4   | Se siente ligeramente el tarwi y menos la quinua | 4   | Sabe ligeramente el tarwi menos la quinua   | 4   | Aguado             | 4   |
| Muy desagradable                 | 5   | Intenso a tarwi                                  | 5   | Sabe a tarwi                                | 5   | Muy aguado         | 5   |

#### Cuadro de apreciación de los atributos

| COLOR       |     | OLOR        |     | SABOR       |     | CONSISTENCIA |     |
|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|
| Tratamiento | Pts | Tratamiento | Pts | Tratamiento | Pts | Tratamiento  | Pts |
| T 5         |     | T 5         |     | T 5         |     | T 5          |     |
| T 6         |     | T 6         |     | T 6         |     | T 6          |     |
| T 7         |     | T 7         |     | T 7         |     | T 7          |     |
| T 8         |     | T 8         |     | T 8         |     | T 8          |     |

Observación o comentarios: .....

Muchas gracias

Bach. Yuber Taípe Flores

Anexo N° 23: Evaluación sensorial del color

| COLOR   |             |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| JUEZ    | TRATAMIENTO |    |    |    |    |    |    |    |
|         | T1          | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| Juez 1  | 3           | 5  | 3  | 2  | 1  | 5  | 3  | 1  |
| Juez 2  | 4           | 3  | 2  | 5  | 4  | 5  | 4  | 3  |
| Juez 3  | 1           | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 1  | 1  |
| Juez 4  | 1           | 4  | 1  | 4  | 5  | 4  | 4  | 4  |
| Juez 5  | 2           | 2  | 2  | 4  | 1  | 2  | 1  | 4  |
| Juez 6  | 4           | 1  | 5  | 4  | 3  | 4  | 5  | 2  |
| Juez 7  | 4           | 1  | 4  | 5  | 3  | 2  | 2  | 4  |
| Juez 8  | 4           | 3  | 2  | 4  | 5  | 4  | 1  | 1  |
| Juez 9  | 1           | 2  | 3  | 5  | 1  | 3  | 3  | 2  |
| Juez 10 | 1           | 4  | 3  | 2  | 3  | 2  | 1  | 3  |
| Juez 11 | 3           | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  |
| Juez 12 | 4           | 3  | 4  | 4  | 2  | 2  | 1  | 1  |
| Juez 13 | 3           | 3  | 2  | 4  | 2  | 1  | 3  | 3  |
| Juez 14 | 3           | 4  | 2  | 4  | 2  | 4  | 1  | 1  |
| Juez 15 | 4           | 3  | 2  | 5  | 3  | 3  | 4  | 3  |
| Juez 16 | 3           | 1  | 2  | 1  | 4  | 3  | 2  | 3  |
| Juez 17 | 4           | 4  | 2  | 3  | 5  | 2  | 4  | 2  |
| Juez 18 | 2           | 2  | 1  | 3  | 4  | 1  | 1  | 4  |
| Juez 19 | 4           | 5  | 3  | 4  | 1  | 4  | 3  | 4  |
| Juez 20 | 2           | 4  | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| Juez 21 | 5           | 2  | 5  | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  |
| Juez 22 | 2           | 1  | 4  | 4  | 1  | 1  | 2  | 3  |
| Juez 23 | 2           | 3  | 2  | 5  | 1  | 2  | 3  | 5  |
| Juez 24 | 2           | 4  | 2  | 2  | 5  | 3  | 3  | 1  |
| Juez 25 | 3           | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 2  | 4  |
| Juez 26 | 5           | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| Juez 27 | 4           | 1  | 1  | 3  | 3  | 4  | 5  | 3  |
| Juez 28 | 2           | 5  | 5  | 2  | 4  | 5  | 3  | 4  |
| Juez 29 | 4           | 3  | 2  | 5  | 3  | 3  | 2  | 4  |
| Juez 30 | 1           | 3  | 4  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2  |

Anexo N° 24: Evaluación sensorial del olor

| OLOR    |             |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| JUEZ    | TRATAMIENTO |    |    |    |    |    |    |    |
|         | T1          | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| Juez 1  | 3           | 5  | 3  | 2  | 1  | 5  | 3  | 1  |
| Juez 2  | 4           | 3  | 2  | 5  | 4  | 5  | 4  | 3  |
| Juez 3  | 1           | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 1  | 1  |
| Juez 4  | 1           | 4  | 1  | 4  | 5  | 4  | 4  | 4  |
| Juez 5  | 2           | 2  | 2  | 4  | 1  | 2  | 1  | 4  |
| Juez 6  | 4           | 1  | 5  | 4  | 3  | 4  | 5  | 2  |
| Juez 7  | 4           | 1  | 4  | 5  | 3  | 2  | 2  | 4  |
| Juez 8  | 4           | 3  | 2  | 4  | 5  | 4  | 1  | 1  |
| Juez 9  | 1           | 2  | 3  | 5  | 1  | 3  | 3  | 2  |
| Juez 10 | 1           | 4  | 3  | 2  | 3  | 2  | 1  | 3  |
| Juez 11 | 3           | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  |
| Juez 12 | 4           | 3  | 4  | 4  | 2  | 2  | 1  | 1  |
| Juez 13 | 3           | 3  | 2  | 4  | 2  | 1  | 3  | 3  |
| Juez 14 | 3           | 4  | 2  | 4  | 2  | 4  | 1  | 1  |
| Juez 15 | 4           | 3  | 2  | 5  | 3  | 3  | 4  | 3  |
| Juez 16 | 3           | 1  | 2  | 1  | 4  | 3  | 2  | 3  |
| Juez 17 | 4           | 4  | 2  | 3  | 5  | 2  | 4  | 2  |
| Juez 18 | 2           | 2  | 1  | 3  | 4  | 1  | 1  | 4  |
| Juez 19 | 4           | 5  | 3  | 4  | 1  | 4  | 3  | 4  |
| Juez 20 | 2           | 4  | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| Juez 21 | 5           | 2  | 5  | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  |
| Juez 22 | 2           | 1  | 4  | 4  | 1  | 1  | 2  | 3  |
| Juez 23 | 2           | 3  | 2  | 5  | 1  | 2  | 3  | 5  |
| Juez 24 | 2           | 4  | 2  | 2  | 5  | 3  | 3  | 1  |
| Juez 25 | 3           | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 2  | 4  |
| Juez 26 | 5           | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| Juez 27 | 4           | 1  | 1  | 3  | 3  | 4  | 5  | 3  |
| Juez 28 | 2           | 5  | 5  | 2  | 4  | 5  | 3  | 4  |
| Juez 29 | 4           | 3  | 2  | 5  | 3  | 3  | 2  | 4  |
| Juez 30 | 1           | 3  | 4  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2  |

Anexo N° 25: Evaluación sensorial del sabor

| SABOR   |              |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| JUEZ    | TRATAMIENTOS |    |    |    |    |    |    |    |
|         | T1           | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| Juez 1  | 3            | 5  | 5  | 2  | 5  | 5  | 2  | 4  |
| Juez 2  | 4            | 1  | 2  | 2  | 5  | 4  | 2  | 4  |
| Juez 3  | 2            | 2  | 5  | 2  | 4  | 2  | 2  | 1  |
| Juez 4  | 3            | 5  | 5  | 5  | 4  | 4  | 2  | 4  |
| Juez 5  | 4            | 2  | 2  | 2  | 5  | 4  | 1  | 5  |
| Juez 6  | 3            | 4  | 3  | 5  | 4  | 4  | 4  | 5  |
| Juez 7  | 5            | 4  | 4  | 4  | 4  | 1  | 2  | 4  |
| Juez 8  | 4            | 2  | 2  | 4  | 4  | 4  | 4  | 2  |
| Juez 9  | 4            | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  | 5  | 2  |
| Juez 10 | 4            | 2  | 4  | 2  | 3  | 1  | 1  | 3  |
| Juez 11 | 4            | 5  | 4  | 2  | 4  | 4  | 2  | 1  |
| Juez 12 | 4            | 5  | 2  | 4  | 2  | 4  | 4  | 3  |
| Juez 13 | 2            | 4  | 2  | 5  | 2  | 1  | 3  | 4  |
| Juez 14 | 5            | 4  | 5  | 5  | 3  | 2  | 2  | 5  |
| Juez 15 | 4            | 3  | 2  | 5  | 3  | 3  | 5  | 4  |
| Juez 16 | 4            | 2  | 5  | 4  | 5  | 3  | 1  | 3  |
| Juez 17 | 4            | 2  | 2  | 5  | 5  | 2  | 4  | 4  |
| Juez 18 | 2            | 2  | 5  | 3  | 3  | 5  | 1  | 4  |
| Juez 19 | 5            | 5  | 2  | 2  | 2  | 5  | 5  | 5  |
| Juez 20 | 2            | 3  | 5  | 2  | 4  | 4  | 2  | 4  |
| Juez 21 | 5            | 5  | 5  | 3  | 2  | 4  | 2  | 4  |
| Juez 22 | 2            | 4  | 2  | 4  | 3  | 2  | 4  | 5  |
| Juez 23 | 1            | 5  | 2  | 4  | 3  | 4  | 2  | 5  |
| Juez 24 | 5            | 4  | 2  | 2  | 4  | 5  | 4  | 5  |
| Juez 25 | 3            | 5  | 5  | 2  | 4  | 2  | 2  | 5  |
| Juez 26 | 5            | 5  | 4  | 4  | 4  | 2  | 4  | 2  |
| Juez 27 | 4            | 2  | 2  | 4  | 5  | 1  | 4  | 4  |
| Juez 28 | 2            | 4  | 5  | 2  | 4  | 5  | 3  | 4  |
| Juez 29 | 4            | 5  | 2  | 5  | 3  | 2  | 5  | 5  |
| Juez 30 | 3            | 5  | 3  | 5  | 3  | 2  | 3  | 4  |

Anexo N° 26: Evaluación sensorial de la consistencia

| CONSISTENCIA |             |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| JUEZ         | TRATAMIENTO |    |    |    |    |    |    |    |
|              | T1          | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| Juez 1       | 3           | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  |
| Juez 2       | 4           | 2  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  |
| Juez 3       | 4           | 4  | 4  | 3  | 2  | 4  | 4  | 3  |
| Juez 4       | 1           | 3  | 5  | 2  | 2  | 4  | 2  | 2  |
| Juez 5       | 3           | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  | 3  | 3  |
| Juez 6       | 4           | 3  | 3  | 5  | 4  | 2  | 5  | 4  |
| Juez 7       | 3           | 3  | 4  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| Juez 8       | 3           | 3  | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  |
| Juez 9       | 4           | 2  | 3  | 4  | 4  | 1  | 3  | 3  |
| Juez 10      | 3           | 3  | 3  | 4  | 3  | 2  | 5  | 3  |
| Juez 11      | 4           | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  |
| Juez 12      | 4           | 4  | 3  | 2  | 3  | 5  | 3  | 4  |
| Juez 13      | 3           | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |
| Juez 14      | 3           | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 5  |
| Juez 15      | 3           | 3  | 3  | 4  | 2  | 2  | 4  | 3  |
| Juez 16      | 3           | 5  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| Juez 17      | 4           | 4  | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  |
| Juez 18      | 3           | 4  | 3  | 4  | 2  | 4  | 3  | 3  |
| Juez 19      | 2           | 2  | 2  | 4  | 3  | 2  | 4  | 4  |
| Juez 20      | 4           | 4  | 3  | 5  | 3  | 4  | 5  | 5  |
| Juez 21      | 4           | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| Juez 22      | 4           | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 2  |
| Juez 23      | 3           | 5  | 2  | 5  | 3  | 5  | 3  | 5  |
| Juez 24      | 3           | 3  | 2  | 4  | 3  | 3  | 3  | 5  |
| Juez 25      | 4           | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  |
| Juez 26      | 3           | 4  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 4  |
| Juez 27      | 5           | 4  | 2  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| Juez 28      | 3           | 4  | 2  | 4  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Juez 29      | 3           | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 5  |
| Juez 30      | 4           | 2  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  |

Anexo N° 27: Datos del viscosímetro Fungilab del yogurt batido

| TRATAMIENTO 4 |           |            |        |             |            |        |             |            |        |             |
|---------------|-----------|------------|--------|-------------|------------|--------|-------------|------------|--------|-------------|
| Tiempo        | Velocidad | Replica 1  |        |             | Replica 2  |        |             | Replica 3  |        |             |
|               |           | Viscosidad | Torque | Temperatura | Viscosidad | Torque | Temperatura | Viscosidad | Torque | Temperatura |
| (S)           | (rpm)     | cP         | (%)    | °C          | cP         | (%)    | °C          | cP         | (%)    | °C          |
| 60            | 5         | 10280      | 1.3    | 16.7        | 9641.9     | 1.2    | 16.7        | 10575      | 1.3    | 16.7        |
| 60            | 10        | 6191.2     | 1.5    | 16.7        | 5871.7     | 1.5    | 16.7        | 4827.8     | 1.2    | 16.7        |
| 60            | 20        | 4197.5     | 2.1    | 16.7        | 3290.6     | 1.6    | 16.7        | 3635.7     | 1.8    | 16.7        |
| 60            | 30        | 3173.5     | 2.4    | 16.7        | 3003.2     | 2.3    | 16.7        | 2754.8     | 2.1    | 16.7        |
| 60            | 40        | 2282.2     | 2.3    | 16.7        | 2356.2     | 2.4    | 16.7        | 2357.1     | 2.4    | 16.7        |
| 60            | 50        | 1979       | 2.5    | 16.7        | 2045.4     | 2.6    | 16.7        | 1996.7     | 2.5    | 16.7        |
| 60            | 60        | 1678.2     | 2.5    | 16.7        | 1761       | 2.6    | 16.7        | 1711.5     | 2.6    | 16.7        |
| 60            | 70        | 1502.6     | 2.6    | 16.7        | 1494.5     | 2.6    | 16.7        | 1521.9     | 2.7    | 16.7        |
| 60            | 80        | 1414.5     | 2.8    | 16.7        | 1435.6     | 2.9    | 16.7        | 1410.9     | 2.8    | 16.7        |
| 60            | 90        | 1318       | 3      | 16.7        | 1247.2     | 2.8    | 16.7        | 1255.1     | 2.8    | 16.7        |
| 60            | 100       | 1239.5     | 3.1    | 16.7        | 1184.7     | 3      | 16.7        | 1173.9     | 2.9    | 16.7        |

Anexo N° 28: Datos del viscosímetro Fungilab del yogurt batido

| TRATAMIENTO 8 |           |            |        |             |            |        |             |            |        |             |
|---------------|-----------|------------|--------|-------------|------------|--------|-------------|------------|--------|-------------|
| Tiempo        | Velocidad | Replica 1  |        |             | Replica 2  |        |             | Replica 3  |        |             |
|               |           | Viscosidad | Torque | Temperatura | Viscosidad | Torque | Temperatura | Viscosidad | Torque | Temperatura |
| (S)           | (rpm)     | cP         | (%)    | °C          | cP         | (%)    | °C          | cP         | (%)    | °C          |
| 60            | 5         | 11859      | 1.5    | 16.7        | 14265      | 1.8    | 16.7        | 11670      | 1.5    | 16.7        |
| 60            | 10        | 7175.5     | 1.8    | 16.7        | 7691.6     | 1.9    | 16.7        | 7805.3     | 2      | 16.7        |
| 60            | 20        | 4840.9     | 2.4    | 16.7        | 4679.6     | 2.3    | 16.7        | 4823.6     | 2.4    | 16.7        |
| 60            | 30        | 3581.3     | 2.7    | 16.7        | 3592.6     | 2.7    | 16.7        | 3508.4     | 2.6    | 16.7        |
| 60            | 40        | 3045.8     | 3      | 16.7        | 2958.4     | 3      | 16.7        | 3016.3     | 3      | 16.7        |
| 60            | 50        | 2603.4     | 3.3    | 16.7        | 2531       | 3.3    | 16.7        | 2605       | 3.3    | 16.7        |
| 60            | 60        | 2298.6     | 3.4    | 16.7        | 2270.5     | 3.4    | 16.7        | 2254.5     | 3.4    | 16.7        |
| 60            | 70        | 2018.2     | 3.5    | 16.7        | 2003.3     | 3.5    | 16.7        | 1982.9     | 3.5    | 16.7        |
| 60            | 80        | 1894.6     | 3.8    | 16.7        | 1874.8     | 3.7    | 16.7        | 1874.8     | 3.7    | 16.7        |
| 60            | 90        | 1718.5     | 3.9    | 16.7        | 1714.8     | 3.9    | 16.7        | 1727.8     | 3.9    | 16.7        |
| 60            | 100       | 1612.1     | 4      | 16.7        | 1603.3     | 4      | 16.7        | 1591.8     | 4      | 16.7        |

Anexo N° 29: Matriz de consistencia

|    | PROBLEMA   | OBJETIVOS  | HIPÓTESIS   | DEFINICIÓN DE OPERACIONES                                     |               |                  | RECOLECCIÓN DE DATOS |                         |
|----|--|--|---|---|---------------|------------------|----------------------|-------------------------|
|    |  |  |   | VARIABLES   | INDICADOR     | DISEÑO DE MÉTODO | TÉCNICA              | INSTRUMENTO             |
| G  | ¿Qué características reológicas presenta el yogurt batido a diferentes concentraciones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> )?   | Evaluar el efecto de la sustitución parcial de la leche por quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ) en las características reológicas del yogurt batido. | La sustitución parcial de la leche por quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ) influye en las características reológicas del yogurt batido acuerdo a cantidad adicionada del extracto acuoso. | Evaluación de las características reológicas                  | Viscosidad    | Experimental     | Mitschka             | Reómetro                |
|    |  |  |   |   | Consistencia  | Experimental     | Mitschka             | Reómetro                |
| E1 | ¿Cómo se puede obtener el extracto acuoso de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> )?   | Obtener el extracto acuoso de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ).  | El proceso adoptado mejora el rendimiento de extractos acuosos de la quinua y tarwi y las propiedades físicas a diferencia del proceso tradicional.   | Extracto acuoso de quinua                                     | Sedimentación | Experimental     | Cálculo              | Tubo de ensayo graduado |
|    |  |  |   |   | Densidad      | Experimental     | Cálculo              | Picnómetro              |
|    |  |  |   | Extracto acuoso de tarwi                                      | Sedimentación | Experimental     | Cálculo              | Tubo de ensayo graduado |
|    |  |  |   |   | Densidad      | Experimental     | Cálculo              | Picnómetro              |
| E2 | ¿Cuál es la proporción de quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ) para obtener yogurt batido?  | Determinar la proporción de quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ) para obtener yogurt batido.  | Los extractos acuosos de quinua y tarwi influyen en las características reológicas y fisicoquímicas de acuerdo a los niveles de sustitución   | Sustitución de la leche por extracto acuoso de quinua y tarwi | % Leche       | Experimental     | Cálculo              | Reómetro                |
|    |  |  |   |   | % Tarwi       | Experimental     | Cálculo              | Reómetro                |
|    |  |  |   |   | % Quinua      | Experimental     | Cálculo              | Reómetro                |
| E3 | ¿De qué manera influye la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y el tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ) en los resultados de las características reológicas ( <i>k</i> y <i>n</i> ) y fisicoquímicas del mejor tratamiento del yogurt batido? | Determinar las características reológicas ( <i>k</i> y <i>n</i> ) y fisicoquímicas al mejor yogurt batido de quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) y tarwi ( <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> ).    | Los extractos acuosos de la quinua y el tarwi influyen resultados de las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales del yogurt batido.  | Características reológicas                                    | <i>k</i>      | Experimental     | Cálculo              | Reómetro                |
|    |  |  |   |   | <i>n</i>      | Experimental     | Cálculo              | Reómetro                |
|    |  |  |   | Características fisicoquímicas                                | pH            | Experimental     | Medición             | Potenciómetro           |
|    |  |  |   |   | Acidez        | Experimental     | Titulación           | Bureta graduada         |